





PROPERTY OF  
THE AMERICAN ASSOCIATION  
FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE

PROPERTY OF  
THE AMERICAN ASSOCIATION  
FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE

**ТРУДЫ  
ГЕОЛОГИЧЕСКАГО КОМИТЕТА.**

**ТОМЪ ДЕСЯТЫЙ.**

---

**MÉMOIRES  
DU COMITÉ GÉOLOGIQUE.**

**VOLUME DIXIÈME.**

---

**С.-ПЕТЕРБУРГЪ.**

**1890 — 1895.**



---

Напечатано по распоряженію Геологическаго Комитета.

---

---

Типографія М. Стасюлевича, Сиб., Вас. Остр., 5 лин., 28.

## СОДЕРЖАНІЕ ДЕСЯТАГО ТОМА.

---

### № 1.

- |  |   |
|--|---|
| <b>И. Мушкетовъ.</b> Вѣрненское землетрясеніе<br>28-го мая 1887 г. | <b>I. Mouchketoff.</b> La tremblement de terre de<br>Verny. |
|--|---|

### № 2.

- |   |   |
|---|---|
| <b>Е. Федоровъ.</b> Теодолитный методъ въ мине-<br>ралогіи и петрографіи. | <b>E. Fedoroff.</b> Nouvelle méthode pour l'étude<br>goniometrique et optique des cristaux. |
|---|---|

### № 3.

- |   |  |
|---|--|
| <b>А. Штукенбергъ.</b> Кораллы и мшанки каменно-<br>угольныхъ отложений Урала и Тимана. | <b>A. Stuckenberg.</b> Korallen und Bryozoen der<br>Steinkohlenablagerungen des Ural und<br>des Timan. |
|---|--|

### № 4.

- |  |   |
|--|---|
| <b>И. Соколовъ.</b> О происхожденіи лимановъ юж-<br>ной Россіи | <b>N. Sokolow.</b> Ueber die Entstehung der Li-<br>mane Südrusslands. |
|--|---|
-



ТРУДЫ ГЕОЛОГИЧЕСКАГО КОМИТЕТА.

MÉMOIRES DU COMITÉ GÉOLOGIQUE.

Томъ X, № 1.

Volume X, № 1.

# ВЪРНЕМСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНІЕ

28 Мая (9 Юня) 1887 г.

И. В. МУШКЕТОВА.

(СЪ 4-Я КАРТАМИ И 43-Я ПОЛИТИПАЖАМИ ВЪ ТЕСТЪ).

# LE TREMBLEMENT DE TERRE DE VERNY

28 Mai (9 Juin) 1887.

[Das Erdbeben von Vernyj vom 28 Mai (9 Juni) 1887].

J. V. MOUCHKETOW.

(AVEC 4 CARTES ET 43 POLITIPAGES DANS LE TEXTE).

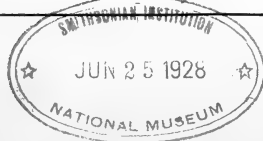
## Коммисіонеры Геологическаго Комитета:

Книжный магазинъ „Новаго Времени“  
въ С.-Петербурѣ.  
Librairie Eggers et C<sup>ie</sup>  
à St.-Petersbourg.

Картографическій магазинъ А. Елизина  
въ С.-Петербурѣ.  
D<sup>r</sup> Dagincourt  
Paris, 15, Rue de Tournon.

Цена 3 руб. 50 коп.

1890.





ТРУДЫ ГЕОЛОГИЧЕСКАГО КОМИТЕТА.  
Томъ X, № 1.

MÉMOIRES DU COMITÉ GÉOLOGIQUE.  
Volume X, № 1.

# ВЪРНЕНОСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНІЕ

28 Мая (9 Іюня) 1887 г.

И. В. МУШКЕТОВА.

(съ 4-мя картами и 43-мя политипажамы въ текстѣ).

# LE TREMBLEMENT DE TERRE DE VERNY

28 Mai (9 Juin) 1887.

[Das Erdbeben von Vernyj vom 28 Mai (9 Juni) 1887].

J. V. MOUSCHKETOW.

(AVEC 4 CARTES ET 43 POLITIPAGES DANS LE TEXTE).

Коммисіонеры Геологическаго Комитета:

Книжный магазинъ „Новаго Времени“  
въ С.-Петербургѣ.  
Librairie Eggers et Cie  
à St.-Petersbourg.

Картографическій магазинъ А. Ильина  
въ С.-Петербургѣ.  
D-r Daguinourt  
Paris, 15, Rue de Tournon.

Цѣна 3 руб. 50 коп.

1890.



---

Напечатано по распоряженію Геологическаго Комитета

---

---

Типографія М. М. Стасюлевича, Спб., Вас. Остр., 5 лин., 28.



## СО Д Е Р Ж А Н И Е.

	СТРАН.		SEITE.
<b>Предисловіе . . . . .</b>	1	<b>Vorwort . . . . .</b>	1
ГЛАВА I. — Первая извѣстія о Вѣрненскомъ землетрясеніи 28-го мая 1887 г. и разрушительныя послѣдствія его въ г. Вѣрномъ . . . . .	7	CAPITEL I.—Die ersten Nachrichten über das Erdbeben von Wernoje vom 28 Mai (9 Juni) 1887 und dessen Zerstörungerscheinungen in Wernoje . . . . .	7
ГЛАВА II.—Разрушительныя послѣдствія землетрясенія 28-го мая 1887 г. въ поселеніяхъ Семирѣченской области, кромѣ г. Вѣрнаго, и характеръ проявленія этого землетрясенія въ нихъ . . . . .	41	CAPITEL II.—Die Zerstörungerscheinungen des Erdbebens von 28 Mai (9 Juni) 1887 in Ortschaften des Semiretschin'schen Gebietes und Charakter dieses Erdbebens . . . . .	41
ГЛАВА III. — Разрушительныя послѣдствія землетрясенія 28-го мая 1887 г. въ горахъ, преимущественно на сѣверномъ склонѣ Заилійскаго Алатау . . . . .	70	CAPITEL III.—Die Zerstörungerscheinungen des Erdbebens vom 28 Mai (9 Juni) 1887 im Gebirge, namentlich am nördlichen Gehänge Hinterilij'schen Alatau . . . . .	70
ГЛАВА IV. — Общія заключенія о Вѣрненскомъ землетрясеніи 28-го мая и вѣроятной причинѣ его . . . . .	125	CAPITEL IV.—Allgemeine Schlussfolgerungen über das Erdbeben von Wernoje vom 28 Mai (9 Juni) 1887 und über dessen wahrscheinliche Ursachen . . . . .	125
<b>Resumé.—Das Erdbeben von Wernoje vom 28 Mai 1887. . . . .</b>	<b>141</b>		



## ПРЕДИСЛОВІЕ.

Въ своихъ предварительныхъ отчетахъ <sup>1)</sup> я уже указывалъ, что землетрясеніе 28 мая 1887 г., причинившее большія бѣдствія г. Вѣрному съ окрестностями и обратившее на себя должное вниманіе нашего общества и правительства, хотя принадлежитъ къ выдающимся, но не исключительнымъ явленіямъ, такъ какъ землетрясенія въ Туркестанѣ происходятъ почти ежегодно и извѣстія о нихъ восходятъ до IX ст. Землетрясеніе 28 мая больше всего отразилось на г. Вѣрномъ, поэтому и называютъ его Вѣрненскимъ; оно замѣчательно обширною областью распространенія, силою и разнообразными разрушительными послѣдствіями какъ въ поселеніяхъ, такъ и въ окрестныхъ горахъ, поэтому изслѣдованіе его само собою представляло высокій научный интересъ, тѣмъ болѣе, что до сихъ поръ ни одно изъ туркестанскихъ землетрясеній не было изучено съ достаточною полнотою, вслѣдствіе чего и о природѣ ихъ имѣли лишь смутное представленіе; но кромѣ того, причинивъ значительныя разрушенія въ областномъ городѣ Семирѣченской области—Вѣрномъ, оно вызвало практической вопросъ о перенесеніи административнаго центра области на другое, болѣе безопасное мѣсто, подобно тому, какъ вѣкогда изъ Шемахи перенесли центръ управленія въ Баку. Это послѣднее обстоятельство, въ связи съ научнымъ интересомъ, способствовало скорѣйшему осуществленію экспедиціи для изслѣдованія землетрясенія 28 мая въ надлежащемъ составѣ. Собственно для всесторонняго обсужденія вопроса о перенесеніи г. Вѣрнаго были командированы, по Высочайшему повелѣнію, Свиты Его Величества генералъ-маіоръ Зуровъ; на нашу же экспедицію возложена была геологическая сторона этого вопроса, и только въ этомъ отношеніи она подчинялась генералу Зурову. Руководство же и организациія изслѣдованій экспедиціи, а также и отчетъ, были возложены госпо-

<sup>1)</sup> См. предварительный отчетъ объ изслѣдованіи землетрясенія въ г. Вѣрномъ 28 мая 1887 г. въ Извѣстіяхъ Геологическаго комитета, т. VII за 1888 г., № 1; также мое сообщеніе „Землетрясеніе 28 мая 1887 г. въ г. Вѣрномъ“ въ Импер. Русск. Географ. Обществѣ, 9 марта 1888 г. въ Извѣст. Импер. Русск. Геогр. Общ., т. XXIV.



дином Министром Государственных Имуществ на меня, как члена Геологического Комитета, къ которому и приурочены всѣ работы экспедиціи; хотя всѣ расходы какъ по экспедиціи, такъ и по изданію настоящаго отчета произведены изъ суммъ Горнаго Департамента.

Такъ какъ экспедиція наша, снаряженная съ Высочайшаго соизволенія Горнымъ Департаментомъ Министерства Государственныхъ Имуществъ только въ концѣ іюня, должна была сравнительно въ короткое время изслѣдовать огромное пространство въ странѣ мало населенной, мѣстами пустынной, гдѣ никакихъ систематическихъ наблюдений не производилось, гдѣ всякая экскурсія совершается только караваннымъ способомъ, то, очевидно, она должна была состоять изъ многихъ членовъ. Въ составъ ея, кромѣ меня, вошли горные инженеры: Ф. П. Брусницынъ, находившійся въ то время на развѣдкахъ каменнаго угля въ Семирѣченской области, И. В. Игнатьевъ, состоящій на службѣ при степномъ генераль-губернаторѣ, М. Н. Ляминъ и Э. А. Штедингъ, только что окончившіе курсъ въ Горномъ Институтѣ. Кромѣ того, топографъ П. А. Рафаиловъ, командированный изъ С.-Петербурга и мѣстный топографъ Стрижевскій, также мѣстные: фотографъ С. Ф. Николаи и рисовальщикъ Н. Г. Хлудовъ. Всѣ члены экспедиціи собрались въ г. Вѣрномъ къ 24 іюля, но работы начались раньше; до 24 іюля гг. Ляминъ и Штедингъ изучали послѣдствія землетрясенія по пути отъ г. Сергіополя до г. Вѣрнаго, Ф. П. Брусницынъ изслѣдовалъ разрушенія въ долинѣ Авсяя и Какселена, а И. В. Игнатьевъ въ долинахъ — Большой и Малой Алматинокъ. По приѣздѣ въ г. Вѣрный, я, лично, вслѣдствіе болѣзни, въ продолженіе двухъ недѣль не могъ принимать участія въ работахъ, тогда какъ остальные члены занимались подробнымъ изученіемъ характера разрушенія въ г. Вѣрномъ и его окрестностяхъ, причѣмъ сдѣланы многочисленныя опредѣленія положенія трещинъ, которыя, при сведеніи результатовъ, даютъ возможность выяснитъ, по способу Маллета, направленіе землетрясенія, эпицентръ его и приблизительную глубину исходнаго пункта землетрясенія, что было бы невозможно за отсутствіемъ наблюдений во время самаго землетрясенія. Собравъ всѣ официальные свѣдѣнія и познакомившись съ общимъ характеромъ разрушеній, я выработалъ для дальнѣйшихъ работъ слѣдующую программу, по которой и были начаты работы съ 9 августа.

1) Горный инженеръ Игнатьевъ долженъ былъ прослѣдить результаты землетрясенія 28 мая къ сѣверу отъ г. Вѣрнаго до г. Копала и, далѣе, къ г. Лепсинску, черезъ Ала-куль до Чугучака и Бахты, откуда, вдоль Тарбагатая до г. Сергіополя.

2) Горному инженеру Брусницыну поручены были подобныя же изслѣдованія, но въ другомъ направленіи, приблизительно перпендикулярномъ къ первому, а именно: онъ долженъ былъ прослѣдить бывшее землетрясеніе отъ Илійскаго выселка, внизъ по р. Или и, затѣмъ, на Макуръ и Алтынъ-эмель, дойти до Кульджи, собрать свѣдѣнія отъ китайцевъ и оттуда идти на Калканъ, чтобы, совмѣстно со мной, осмотрѣть мѣсто-рожденіе каменнаго угля на Калканѣ и рѣшить вопросъ о продолженіи развѣдокъ.

3) Инженерам Лямину и Штедингу поручались подобныя же изслѣдованія въ направленіи къ западу отъ Вѣрнаго, со включеніемъ западнаго побережья оз. Иссыкъ-куля, ущелья Буамъ, причѣмъ Ляминъ долженъ былъ прослѣдить землетрясеніе на сѣверномъ склонѣ Александровскаго хребта къ югу отъ г. Пишпека, а Штедингъ— къ сѣверу отъ Пишпека, внизъ по р. Чу. Кромѣ того, они должны были собрать свѣдѣнія о Бѣловодскомъ землетрясеніи 22 іюля 1885 г., въ видѣ дополненія къ тѣмъ, которыя были сообщены Игнатьевымъ <sup>1)</sup>.

4) Топографу Рафаилову поручалась нивелировка отъ г. Вѣрнаго черезъ два хребта: Заилійскій и Кунгей-Алатау до озера Иссыкъ-куля (около 150 верстъ), а также тригонометрическое опредѣленіе высоты нѣкоторыхъ выдающихся вершинъ. Нивелировка эта, имѣя важное значеніе для составленія точнаго геологическаго разрѣза черезъ два хребта, вмѣстѣ съ тѣмъ послужитъ основаніемъ для будущихъ опредѣленій измѣненій высоты горъ.

5) Топографу Стрижевскому была поручена съемка долины Аксая въ предѣлахъ площади обваловъ, а также обваловъ на Джаманъ- и Тасты-Булакѣ.

6) Я лично, взявъ на себя изслѣдованіе центральной области землетрясенія, преимущественно въ горахъ между Вѣрнымъ и оз. Иссыкъ-кулемъ, а также къ востоку отъ г. Вѣрнаго до Калкана и Турайгыра. Фотографъ Николаи и рисовальщикъ Хлудовъ, послѣ работъ въ Вѣрномъ и ближайшихъ окрестностяхъ, все время находились со мной и исполняли работы по моему указанію. Мы прошли изъ г. Вѣрнаго, по линіи нивелировки, до озера Иссыкъ-куля, затѣмъ, по восточному побережью озера, до г. Каракола (нынѣ Пржевальска), откуда, черезъ перевалы Шаты и Турайгырь, вышли на Чиликъ и, побывавъ на Калканѣ, возвратились въ Вѣрный черезъ Иссыкъ и Талгаръ. Часть этого пути, именно черезъ переваль Алматы и Койсу до Иссыкъ-куля, совершили также инженеры Ляминъ и Штедингъ.

По окончаніи этого маршрута, я направился къ западу отъ Вѣрнаго, и въ Бѣловодскѣ соединился съ инженерами Ляминымъ и Штедингомъ. Вмѣстѣ съ ними мы прослѣдили землетрясенія 28 мая 1887 г. и 22 іюля 1885 г. до Ташкента, гдѣ закончили свои работы 8 сентября и возвратились въ Петербургъ черезъ Самаркандъ, Бухару, Закаспійскую область и Астрахань.

Уже по окончаніи работъ въ полѣ выяснились главнѣйшія особенности Вѣренскаго землетрясенія 28 мая 1887 г., которыя изложены мною въ вышеупомянутыхъ предварительныхъ отчетахъ, гдѣ также сообщены вкратцѣ геологическія данныя, касающіяся вопроса о перенесеніи г. Вѣрнаго.

Въ настоящее время всѣ наши работы закончены и я имѣю возможность представить полный отчетъ Вѣренскаго землетрясенія 28 мая 1887 г., насколько оно вы-

---

<sup>1)</sup> Изв. Имп. Рус. Геогр. Общ. за 1886 г. Т. XXII.

явилось как нашими непосредственными наблюдениями разрушительных послѣдствій его, так разспросами очевидцевъ и официальными данными.

Разумѣется, вслѣдствіе цѣлага ряда неблагопріятныхъ обстоятельствъ, а именно: при отсутствіи наблюдений во время самаго землетрясенія 28 мая, при ничтожномъ количествѣ культурныхъ пунктовъ въ области, при полномъ отсутствіи ихъ въ горахъ, населенныхъ исключительно кочевниками, при огромныхъ пространствахъ, занятыхъ пустынями, почти безъ всякаго населенія, при трудности путешествія караваннымъ способомъ, при отдаленности края, почему экспедиція могла начать свои работы только черезъ два мѣсяца послѣ землетрясенія 28 мая и пр.,—многое для насъ осталось неразъясненнымъ съ надлежащею полнотою и утратилось безвозвратно. Очевидно, при такихъ условіяхъ, наши изслѣдованія не могли избѣжать нѣкоторыхъ нежелательныхъ пробѣловъ, заполнить которые было невозможно, несмотря на искреннѣйшее желаніе и стараніе съ нашей стороны и несмотря на самое широкое содѣйствіе, которое постоянно оказывала намъ мѣстная администрація.

Пользуюсь случаемъ и считаю для себя пріятнымъ долгомъ выразить здѣсь еще разъ искреннѣйшую благодарность степному генераль-губернатору, Герасиму Алексѣевичу Коллаковскому. При своихъ неоднократныхъ путешествіяхъ по Туркестану мнѣ не разъ и прежде приходилось убѣждаться на дѣлѣ въ глубокомъ сочувствіи Герасима Алексѣевича къ дѣлу научныхъ изысканій, точно также и въ настоящую экспедицію предупредительная любезность его и полезные совѣты, основанные на глубокомъ и всестороннемъ знаніи Семирѣчья, оказали существеннѣйшую помощь нашимъ изслѣдованіямъ и значительно облегчили наши работы.

Съ такимъ же вниманіемъ и готовностью отнеслись къ нашей экспедиціи военные губернаторы Семирѣченской области, какъ бывшій, А. Я. Фриде, такъ и настоящій, Г. И. Ивановъ, которымъ также приношу мою искреннюю благодарность, а равно и начальнику Зайцевскаго участка, Н. К. Петрову, благодаря которому мои экскурсіи въ пустынномъ Калканѣ значительно облегчились.

Хотя вышеупомянутые пробѣлы, вызванные необходимостью, уменьшаютъ точность нѣкоторыхъ выводовъ, напр., о скорости распространенія землетрясенія, о предѣлахъ подземнаго гула и пр., тѣмъ не менѣе я полагаю, что изслѣдованія наши не только выяснили съ достаточною опредѣленностью существеннѣйшія черты землетрясенія 28 мая, но и, какъ первый опытъ въ этомъ направленіи, бросаютъ нѣкоторый свѣтъ вообще на характеръ туркестанскихъ землетрясеній и причинную связь ихъ горообразовательными процессами Тянь-шаня; эта связь при отсутствіи сейсмическихъ наблюдений въ Туркестанѣ до послѣдняго времени и не подозрѣвалась и только послѣ Вѣрненскаго землетрясенія объ этомъ стали догадываться, по почти безъ всякихъ фактическихъ данныхъ, а только на основаніи научныхъ аналогій. Раньше, по нѣкоторымъ отрывочнымъ наблюденіямъ въ 1874—75 гг., я склоненъ былъ считать всѣ туркестанскія землетрясенія за непуническія и даже высказывалъ эту мысль въ своихъ первыхъ от-

четахъ о путешествіи по Туркестану <sup>1)</sup>, но изслѣдованіе Вѣрненскаго землетрясенія 28 мая 1887 г. доставило цѣлый рядъ доказательствъ въ пользу того, что не только Вѣрненское, но и почти всѣ сколько нибудь значительныя землетрясенія Туркестана, въ томъ числѣ и Бѣловодское 22 іюля 1885 г., принадлежать къ тектоническимъ, тѣсно связаннымъ съ дислокаціею Тянь-шаня.

Настоящій отчетъ распадается на двѣ неравныя части; въ первой, большей изъ нихъ, состоящей изъ трехъ главъ, изложено весь фактической матеріалъ, касающійся собственно разрушительныхъ слѣдовъ землетрясенія 28 мая, какъ въ зданіяхъ городовъ и деревень, такъ и въ природѣ, особенно въ горахъ; здѣсь же приложены нѣкоторыя общія карты и планы, а также рисунки наиболѣ замѣчательныхъ мѣстъ разрушенія, выбранныя изъ большой коллекціи фотографій (болѣе 200), изъ которой, кромѣ того, составлено нѣсколько экземпляровъ альбомовъ, переданныхъ Горному Департаменту, Геологическому Комитету и Имп. Рус. Геогр. Обществу. Кромѣ того, къ этой части и, именно, къ гл. III, приложенъ перечень землетрясеній, бывшихъ въ Вѣрномъ и другихъ мѣстахъ Семирѣчья въ теченіи 1887, 1888 и 1889 гг. Вторая часть этого отчета, составляющая собственно главу IV, заключаетъ въ себѣ общіе выводы о Вѣрненскомъ землетрясеніи, его особенностяхъ, эпицентрѣ, глубинѣ исходнаго пункта и пр. и о вѣроятной причинѣ его, а также краткое геологическое описаніе района эпицентра и плейстоценовой области землетрясенія 28 мая съ геологическимъ разрѣзомъ, сдѣланнымъ мною по профили нивелировки топографа П. А. Рафаилова, отъ г. Вѣрнаго до оз. Иссыкъ-куля, черезъ перевалы Алматинскій и Кой-су. Такъ какъ профиль этотъ имѣетъ весьма важное значеніе для будущихъ изслѣдователей, особенно въ отношеніи измѣненія высоты горъ, то я считалъ нужнымъ приложить также и съѣмку нивелировочной линіи, съ показаніемъ высотъ выдающихся вершинъ, опредѣленныхъ г. Рафаиловымъ; съѣмка эта нанесена на 10-ти-верстную карту эпицентра, т.-е. въ меньшемъ масштабѣ, нежели профиль съ цѣлью удешевленія изданія; оригиналъ же будетъ храниться въ бібліотекѣ Геологическаго Комитета.

Не могу не засвидѣтельствовать, что если мнѣ удалось въ такое короткое время и при всѣхъ вышеупомянутыхъ неблагопріятныхъ условіяхъ собрать нѣкоторыя интересныя данныя и хотя бы сколько нибудь выяснитъ характеръ Вѣрненскаго землетрясенія 28 мая, то этимъ я обязанъ исключительно тому глубокому сочувствію и искреннѣйшей преданности дѣлу, какое обнаруживали всѣ члены экспедиціи, а потому считаю своею непремѣнною обязанностью выразить имъ мою сердечную благодарность, тѣмъ болѣе, что болѣзнь заставила меня потерять бесполезно много времени, а слѣдовательно и часть работы, приходившейся на мою долю, должна была распредѣлиться между остальными членами.

<sup>1)</sup> См. мой отчетъ о путешествіи по Туркестану въ 1875 г. въ Зап. Импер. Спб. Минер. Общ. Т. XII, 1876 г.

Къ сожалѣнію не могу того же сказать о нѣкоторыхъ изъ нашихъ поставщиковъ; особенно намъ навредилъ магазинъ фотографическихъ принадлежностей Ширля, который небрежнымъ исполненіемъ заказа и упаковки, причинилъ не только денежный убытокъ экспедиціи, но и заставилъ потерять напрасно много труда, пока мы убѣдились въ недоброкачественности матеріаловъ; болѣе 50 весьма цѣнныхъ негативовъ пропало безвозвратно.

Въ заключеніе лыщу себя надеждою, что читатель, взвѣсивъ всю невыгодность положенія членовъ экспедиціи при первомъ опытѣ столь трудныхъ изслѣдованій, при которыхъ невозможно было во многихъ отношеніяхъ воспользоваться даже примѣрами другихъ странъ, отнесется снисходительно къ предлагаемому сильному труду. Если же трудъ этотъ, при всѣхъ своихъ недостаткахъ, хотя сколько-нибудь поможетъ пробужденію интереса и основанію у насъ въ Россіи такихъ же систематическихъ наблюденій надъ сейсмическими явленіями, какія установлены уже въ другихъ странахъ, то авторъ его будетъ вполне вознагражденъ. Что касается нѣсколько поздняго появленія отчета, то причина этого нисколько независла отъ автора, такъ какъ отчетъ былъ приготовленъ къ печати уже годъ тому назадъ.

И. МУШКЕТОВЪ.

1-го іюня 1889 г. С.-Петербургъ.



## ГЛАВА I.

### Первыя извѣстія о Вѣрненскомъ землетрясеніи 28 мая 1887 года и разрушительныя послѣдствія его въ г. Вѣрномъ.

Утромъ 28 мая (9-го іюня) 1887 г. сильное землетрясеніе въ Семирѣченской области разрушило областной городъ Вѣрный; такъ оповѣстили С.-Петербургскія газеты на другой день послѣ катастрофы; официальные же сообщенія объ этомъ были получены въ тотъ же день. Первыя официальныя телеграммы военнаго губернатора Семирѣченской области А. Я. Фриде, несмотря на краткость ихъ и очевидную поспѣшность составленія среди общаго смятенія и паники въ г. Вѣрномъ, отличаются большимъ интересомъ и не только указываютъ на значительную силу и обширное распространеніе землетрясенія 28 мая, но и представляютъ такъ сказать краткую исторію главнѣйшихъ событій, вызванныхъ катастрофой въ г. Вѣрномъ, а потому приведемъ изъ нихъ нѣкоторыя фактическія данныя, весьма важныя, какъ засвидѣтельствованныя авторитетомъ высшей власти въ области <sup>1)</sup>.

„Въ концѣ пятого часа утра сильнѣйшее землетрясеніе разрушило множество зданій въ Вѣрномъ, повредивъ всё,— сообщалъ А. Я. Фриде уже въ 7 час. утра 28 мая степному генераль-губернатору — церкви, гимназія, губернаторскій домъ, госпиталь — все пало или сильно повреждено“... „Много увѣченныхъ и ушибленныхъ“... „конечно всё жители на улицахъ“. „Нужныя мѣры принимаются, призваны для карауловъ войска. Къ 11 часамъ пока извѣстно 112 погибшихъ, большею частью дѣти. Свѣдѣнія еще неполны. Слабыя сотрясенія почвы продолжаются“... На другой день 29 мая А. Я. Фриде сообщалъ: „Въ Любовномъ, Узунъ-Агачѣ землетрясеніемъ разрушило или сильно повредило каменныя зданія; ожидаютъ, что церковь въ послѣднемъ разрушится. Далѣе

<sup>1)</sup> Семирѣченскія Областныя Вѣдомости №№ 23, 24, 26, 27 за 1887 г. (іюнь и іюль). Нѣкоторыя изъ этихъ телеграммъ были перепечатаны въ другихъ газетахъ, больше всего въ Туркестанскихъ Вѣдомостяхъ за іюнь 1887 г., но я предпочитаю пользоваться первымъ официальнымъ источникомъ, т.-е. Семирѣчен. Област. Вѣдом. за 1887 г.

по тракту свѣдѣній нѣтъ, ибо телеграфъ поврежденъ, а проѣздъ вслѣдствіе топей и трещинъ въ низменныхъ мѣстахъ крайне затрудненъ даже для верховыхъ. По тракту Копальскому пострадалъ выселокъ Карасуйскій, въ Илійскѣ слабѣе, въ Копалѣ еще слабѣе безъ поврежденій, въ Джаркентѣ тоже. Въ Софійскомъ, Надеждинскомъ повреждены зданія, тоже въ Михайловскомъ и Зайцевскомъ. Болѣе пострадало Маловодное. Людей погибшихъ въ означенныхъ селеніяхъ, кажется нѣтъ, кромѣ одного въ Любовномъ. Въ горахъ много обваловъ и трещинъ; погбло много скота и киргизъ; точныхъ свѣдѣній еще нѣтъ. Въ Вѣрномъ сотрясенія почвы продолжаются почти непрерывно, но вообще слабыя“. Въ телеграммѣ 30 мая А. Я. Фриде указываетъ, „что въ теченіе прошедшей ночи сотрясенія земли значительно ослабли, а днемъ сегодня ощущаются еще менѣе чувствительныя, хотя все еще частыя... Сегодня масса горожанъ бросилась бѣжать вслѣдствіе неосновательныхъ слуховъ о потокахъ воды и грязи изъ горъ. Бродятъ также напрасныя слухи объ опасностяхъ отъ туземцевъ, подавая поводъ къ неважнымъ впрочемъ беспорядкамъ. Для успокоенія умовъ я лично съ помощникомъ объѣхалъ весь городъ, утѣщевалъ народъ не вѣрить вздорнымъ слухамъ и привалъ мѣры. Погода ясная, благопріятная. Для пріюта, гдѣ особенно нужно, доставляются юрты. Къ обезпеченію продовольствія дѣлается все необходимое. Въ Карабулакѣ пострадала церковь, въ Гавриловкѣ разрушилось два дома“... 31 мая „ночью были частыя, но слабыя сотрясенія, продолжающіяся изрѣдка и теперь. Населеніе начинаетъ успокаиваться. Много уже построено печей для приготовленія хлѣба. Изъ станицъ и селеній подвозятъ много печенаго хлѣба, отказываясь отъ всякой платы“. 1 іюня „ночь прошла благополучно. День до полудня, когда посылаю эту телеграмму— тоже. Были только немногія очень слабыя сотрясенія... Дома во всемъ городѣ или разрушены совсѣмъ, или сохранились только стѣны — растрескавшіяся; ни жить, ни исправить невозможно ни въ одномъ домѣ. Придется строить всѣ жилища вновь. Въ виду необходимости разрѣшилъ строить временныя жилища и зданія изъ дерева, постоянныя же по каркасной системѣ, а изъ вырощеннаго лѣса и деревянные дома. Прошу ходатайствовать объ отпускѣ особой суммы на пособія и ссуды служащимъ, на постройку домовъ, безъ чего жить здѣсь едва-ли возможно. Частныя лица, имѣющія средства, уже начинаютъ выселяться изъ края, боясь землетрясеній и дороговизны помѣщеній особенно зимой“.

Какъ извѣстно, вся Россія отнеслась весьма сочувственно къ несчастью, постигнутому г. Вѣрнымъ, и Государь Императоръ первый показалъ примѣръ; „соболезнуя о бѣдствіи, Всемилостивѣйше пожаловалъ 25.000 руб. изъ своихъ суммъ для раздачи пострадавшимъ“; за нимъ послѣдовали Великіе Князья; изъ городовъ прежде всего откликнулся Ташкентъ. Іюня 8 А. Я. Фриде сообщалъ, что „ночью были частыя, но слабыя и плавныя сотрясенія. Съ Иссыкъ-куля доносятъ, что западнѣе г. Каракола (нынѣ Пржевальска) землетрясеніе было сильнѣе, чѣмъ въ Караколѣ, и ощущалось 28, 29 и 30 мая. У Чулианата (станція) берегъ озера небольшой узкой полосой осѣлъ фута

на три. Въ Сазановкѣ, Уйталѣ стѣны домовъ потрескались и для жилья опасны; сазановская церковь и школа дали большія трещины<sup>4</sup>. Дальнѣйшія телеграммы А. Я. Фриде до прїѣзда въ г. Вѣрный степного генералъ-губернатора Г. А. Колпаковского, т.-е. почти до іюля, заключаютъ или сообщеніе о различныхъ мѣропріятіяхъ для облегченія потерпѣвшихъ или же болѣе, систематическое изложеніе вышеприведеннаго, а потому мы ихъ опускаемъ, тѣмъ болѣе, что для подробнаго описанія событій первыхъ дней послѣ землетрясенія 28 мая мы имѣемъ болѣе полный матеріалъ. Отмѣтимъ только еще, что, на запросъ генерала Мирковича, генералъ Фриде сообщилъ, что „землетрясеніе, причинившее бѣдствія, состояло 28 мая въ частыхъ и сильныхъ вертикальныхъ толчкахъ, продолжавшихся менѣе минуты; въ это время растрескалось и начало разваливаться все кирпичное и образовались въ предгоріяхъ трещины на крутыхъ склонахъ. Послѣдовавшія затѣмъ въ первые полчаса менѣе сильныя сотрясенія, продолжавшіяся все утро 28 мая, способствовали разрушенію зданій и обваламъ въ горахъ. Затѣмъ сотрясенія стали рѣже, слабѣе, хотя продолжаютъ по-нынѣ и продолжатся вѣроятно еще долго, не причиняя уже вреда“<sup>5</sup>...

Такимъ образомъ во всѣхъ первыхъ и наиболѣе авторитетныхъ извѣстіяхъ, сообщенныхъ по горячимъ слѣдамъ, подъ первымъ впечатлѣніемъ, хотя и довольно отчетливо опредѣляется разрушительная сила, толчкообразный характеръ и въ общихъ чертахъ обширное распространеніе землетрясенія 28 мая, но къ сожалѣнію не указано точно время наступленія главнаго удара ни въ г. Вѣрномъ, ни въ какомъ либо другомъ пунктѣ; равнымъ образомъ нѣтъ многихъ деталей, которыя собраны были впоследствии. Не будучи свидѣтелями и не располагая никакими научными сейсмическими наблюденіями въ моментъ самаго землетрясенія, но руководствуясь только послѣдующими болѣе полными донесеніями военнаго губернатора, уѣздныхъ начальниковъ и пр., а также корреспонденціями и личнымъ свидѣтельствомъ многихъ частныхъ лицъ— очевидцевъ, попытаемся, передъ изложеніемъ своихъ наблюденій, представить событія первыхъ дней, вызванныя землетрясеніемъ 28 мая преимущественно для г. Вѣрнаго, какъ пункта наиболѣе культурнаго, гдѣ вмѣстѣ съ тѣмъ землетрясеніе отразилось наиболѣе интенсивно.

Прежде всего разумѣется было весьма интересно опредѣлить наивозможно точнѣе время наступленія землетрясенія. Въ вышеприведенныхъ телеграммахъ указано, что разрушеніе послѣдовало „въ концѣ пятаго часа утра 28 мая“, но собственно первые подземные удары въ г. Вѣрномъ, замѣченные населеніемъ, произошли около 4½ часовъ утра 28 мая. Весьма вѣроятно, что собственно мелкія сотрясенія начались раньше, можетъ быть даже наканунѣ вечеромъ; объ этомъ можно заключить изъ многихъ разсказовъ жителей о странномъ безпокойствѣ животныхъ въ ночь съ 27 на 28 мая; такъ, лошади не брали кормъ и обнаруживали удивительное безпокойство; мѣстами ихъ съ трудомъ удерживали на дворахъ; рогатый скотъ, особенно коровы, также были „не по себѣ“ какъ заявляли намъ казаки; а свиньи бросались со дворовъ и ихъ

приходилось запереть; такое же тревожное состояніе наблюдалось и на собакахъ. Разспросы эти подтверждаются нѣкоторыми корреспонденціями; такъ, г. Старовъ <sup>1)</sup> сообщаетъ: „странно, что наканунѣ землетрясенія во многіе дома, въ комнаты черезъ открытыя окна влетали ласточки, воробьи, голуби, какъ бы подтверждавая народную примѣту о близкомъ несчастіи въ домѣ. Перепелки, бывшія у меня въ комнатѣ, въ ночь на 28 мая были такъ безпокойны, какъ ни въ одну изъ предшествовавшихъ ночей“. Г. Ульяновъ <sup>2)</sup> также упоминаетъ объ этомъ, указывая между прочимъ на погоду предшествовавшаго дня: „послѣ жаркаго безоблачнаго дня, солнце закатилось въ какомъ-то багровомъ туманѣ. Необыкновенная тишина царила въ воздухѣ; даже легкій вѣтерокъ не колыхалъ листья деревьевъ и верхушекъ травы..., рассказываютъ, что домашнія животныя — лошади, коровы, собаки — еще за нѣсколько минутъ до первыхъ ударовъ землетрясенія предчувствовали близость страшной катастрофы и дрожали въ ужасѣ; при сильныхъ же ударахъ ужасъ ихъ сдѣлался непреодолимымъ; лошади перескакивали черезъ заборы и мчались по улицамъ; другія животныя съ неестественною силою порвали свои привязи“. Не только въ г. Вѣрномъ, но даже въ окрестныхъ селеніяхъ, напр., въ Талгарѣ (Софійское тожь), Каскеленѣ (Любовный тожь), Карасуйскомъ, а также въ киргизскихъ аулахъ, ближайшихъ къ Вѣрному; многіе изъ туземцевъ замѣчали то же самое на своихъ стадахъ лошадей и даже нѣкоторые, правда немногіе, говорили и про овецъ. Очень можетъ быть, что чувствительными сеймометрами возможно было бы констатировать эти удары, но населеніе ихъ не ощущало. Только около 4½ час. утра начались удары, разбудившіе почти всѣхъ жителей въ Вѣрномъ и заставившіе многіхъ выскочить изъ домовъ; вѣроятно сила ихъ была неменѣе 5 или даже 6 балловъ сейсмической скалы Росси-Фореля. Это было минутъ за 5 (а по нѣкоторымъ даже за 10) до главнаго удара и потому ихъ можно назвать предупредительными ударами, которые, дѣйствительно только испугавъ, многіхъ спасли отъ гибели. По однимъ предупредительные удары произошли въ 4 ч. 30 м. <sup>3)</sup>, по другимъ 4 ч. 35 м. <sup>4)</sup>, наконецъ по третьимъ и именно по свѣдѣніямъ метеорологической станціи въ 4 ч. 42 м. <sup>5)</sup>. По разпросамъ большинство считаетъ время наступленія первыхъ ударовъ—4 ч. 30 м. Въ корреспонденціяхъ большею частью не опредѣляется точно время, но чаще всего говорится о 4 ч. 30 м. Въ донесеніи военнаго губернатора хотя и приводится время согласно съ метеорологической станціей, т.-е. 4 ч. 42 м., но съ оговоркой, что „по другимъ, болѣе распространеннымъ свѣдѣніямъ въ 4 ч. 30 м.“. Хотя время наступленія первыхъ предупредительныхъ ударовъ опредѣляется различно, но дѣйствительность ихъ свидѣтельствуется единогласно

<sup>1)</sup> Турк. Вѣдом. № 26—30 іюня 1887 г.

<sup>2)</sup> Турк. Вѣдом. № 25—23 іюня 1887 г.

<sup>3)</sup> Турк. Вѣдом. № 23, 9 іюня 1887 г. Новое Время, 21 іюня 1887 г.

<sup>4)</sup> Турк. Вѣдом. № 26, 30 іюня 1887 г. Новости и Биржевая газета, 21 іюня 1887 г.

<sup>5)</sup> Данныя метеор. ст. въ г. Вѣрномъ. См. также донесеніе военнаго губернатора отъ 5 августа 1887 г., за № 16758.

всѣми очевидцами. Вотъ какъ описываютъ эти первыя минуты: „утромъ 28 мая, въ 35 мин. пятого, раздался сильный гулъ, съ рѣзкимъ толчкомъ, разбудившій всѣхъ спавшихъ. Колебаніе земли продолжалось не болѣе секунды, и всѣ успокоились, относя настоящее землетрясеніе къ числу обыкновенныхъ, бывавшихъ равнѣ“.

„Я закурилъ папиросу, успѣлъ ее выкурить и выслушать разсказъ жены о какомъ-то страшномъ снѣ съ гробами. Но едва окончился разсказъ, какъ вдругъ мгновенно раздался второй гулъ, съ такими сильными подземными толчками, что моментально начала сыпаться штукатурка, рушиться печи, стѣны и попадали потолки. Эти рѣзкія колебанія съ сильнѣйшими толчками продолжались минутъ пять. Шумъ и грохотъ отъ разрушавшагося города былъ слышенъ за сотню верстъ (?), а подымавшая пыль наполнила улицы города какъ бы туманомъ. Въ 50 мин. пятого утра 28 мая города уже не существовало: всѣ каменные дома рухнули“ <sup>1)</sup>. Другой очевидецъ пишетъ „безъ 25 мин. въ 5 ч. утра было легкое землетрясеніе, которое все-таки всѣхъ разбудило. Но такъ какъ землетрясенія у насъ часты, то лишь немногіе обратили на это вниманіе, встали съ постели и одѣлись.... слышенъ былъ какой-то гулъ, какъ будто звонили во множество колоколовъ или ѣхали тяжелыя орудія. Безъ четверти въ 5 часовъ начало трясти и трясло безъ перерыва 4—5 минутъ. Нельзя описать ужаса тѣхъ, которые провели это время въ комнатахъ: летѣли камни, штукатурка, стекла, вещи; рушились стѣны, потолки, а затѣмъ падали и зданія“ <sup>2)</sup>.

Въ третьей корреспонденціи <sup>3)</sup> говорится, что послѣ первыхъ ударовъ „вскорѣ послѣдовали новыя, еще болѣе сильныя и продолжительныя удары, отъ которыхъ почва настолько сильно колебалась, что трудно было устоять на ногахъ. Эти толчки сопровождались подземнымъ гуломъ, похожимъ на далекіе, но могучіе раскаты грома. Сюда присоединился грохотъ и трескъ ломающихся и обрушивающихся зданій, дикое ржаніе и мычаніе сорвавшихся съ привязи и бѣшено мчащихся въ разныя стороны животныхъ. Жители были уже всѣ посреди улицъ и, полуодѣтые, учащенно крестились, съ ужасомъ ожидая своей гибели“....

Военный губернаторъ въ своемъ донесеніи указываетъ, что за первымъ ударомъ, которому предшествовалъ сильный подземный гулъ, подобный грохоту падающихъ камней или несущемуся желѣзно-дорожному поѣзду, вскорѣ, именно „въ 4 ч. 50 м. (по другимъ свидѣніямъ въ 4 ч. 45 мин.) послѣдовалъ рядъ непрерывно слѣдовавшихъ одинъ за другимъ вертикальныхъ ударовъ въ теченіе около минуты и сильнѣйшее колебаніе земли“. О подземномъ гулѣ единогласно свидѣтельствуютъ всѣ очевидцы, указывая, что онъ раздавался со стороны горъ и достигъ наибольшаго напряженія передъ главнымъ разрушительнымъ ударомъ; что касается направленія подземнаго гула, то по однимъ показаніямъ онъ шель съ S, по другимъ съ SW, по третьимъ съ SO и т. д., по всѣ

<sup>1)</sup> Турк. Вѣдом. № 26, отъ 30 іюня 1887 г.

<sup>2)</sup> Новости и Биржевая газета, отъ 21 іюня 1887 г.

<sup>3)</sup> Турк. Вѣдом. № 25, 23 іюня 1887 г.

согласны въ томъ, что онъ раздавался съ южной полосы, т.-е. отъ хребта Заилійскаго Алатау. Разница показаній, какъ увидимъ ниже, вполне объясняется характеромъ эпицентра этого землетрясенія, располагающагося въ видѣ узкой и длинной полосы на сѣверномъ склонѣ Заилійскаго Алатау, простирающейся согласно съ простираніемъ гребня хребта. Сильнѣйшіе разрушительные удары, продолжавшіеся около одной или двухъ минутъ (хотя нѣкоторые полагаютъ около 5 мин.) наступили по наблюденіямъ метеорологической станціи въ Вѣрномъ въ 4 ч. 50 м., тоже по официальнымъ сообщеніямъ. По другимъ свидѣтельствамъ въ 4 ч. 45 м., но по громадному большинству частныхъ сообщеній въ 4 ч. 35 м. мѣстнаго времени; это послѣднее совершенно, во-1-хъ, совпадаетъ съ показаніями большинства о времени наступленія первыхъ ударовъ въ 4 ч. 30 м., а во 2-хъ, подтверждается различными корреспондентами, указывающими, что въ 4 ч. 50 м. городъ не только былъ разрушенъ, но даже пыль въ воздухѣ почти уже разсѣялась; наконецъ, въ-3-хъ, это подтверждается наблюденіями въ другихъ, къ сожалѣнію, весьма немногихъ пунктахъ, вѣдъ г. Вѣрнаго, времени наступленія сильнѣйшаго удара, а именно въ Илійскѣ и въ г. Ташкентѣ. Въ Илійскѣ, на телеграфной станціи въ моментъ сильнѣйшаго удара остановился аппаратъ и время отмѣчено 4 ч. 40 м.<sup>1)</sup> Если принять, что въ г. Вѣрномъ сильнѣйшій ударъ произошелъ въ 4 ч. 45 м. или въ 4 ч. 50 м., то пришлось бы допустить, что въ Вѣрномъ колебаніе началось позже, что невѣроятно уже потому, какъ увидимъ ниже, что г. Вѣрный лежитъ въ предѣлахъ плейстоценовой области и гораздо ближе къ эпицентру; слѣдовательно, въ Илійскѣ сотрясенія ни въ какомъ случаѣ не могли упреждать Вѣренскихъ, а напротивъ были только продолженіемъ ихъ и притомъ значительно ослабѣвшими. Допуская наступленіе главнаго удара въ Вѣрномъ въ 4 ч. 35 м., какъ свидѣлствуютъ большинство очевидцевъ, а въ Илійскѣ 4 ч. 40 м., получаемъ скорость распространенія сейсмической волны въ сторону Илійска, отстоящаго въ 75 верстахъ къ сѣверу, около 264,6 метровъ въ 1 секунду или 2,14 мили въ 1 минуту, что весьма близко подходитъ къ скорости 250 м. въ 1", определенной Маллетомъ для рыхлыхъ осадочныхъ породъ, каковыя и развиты между Вѣрнымъ и Илійскомъ; также близка она къ скорости западно-германскаго землетрясенія 26 августа 1878 г., определенной Лазо и Шумахеромъ въ 2,45 мили въ 1' или 302,16 метр. въ 1".

Въ Ташкентѣ на обсерваторіи отмѣчена одна волна, вѣроятно соотвѣтствующая сильнѣйшему удару въ г. Вѣрномъ въ 4 ч. 18 м. мѣстнаго времени, что съ поправкою на разницу время между этими пунктами и считая главный ударъ въ Вѣрномъ въ 4 ч. 35 м., даетъ  $13\frac{1}{2}$  минутъ<sup>2)</sup> для прохода сейсмической волны отъ Вѣрнаго до Ташкента, т.-е. по прямому разстоянію около 650 верстъ; слѣдовательно скорость

<sup>1)</sup> См. донесеніе начальника Почтово-телеграфнаго отдѣленія, 18 іюня 1887 г., за № 342. См. также донесеніе военнаго губернатора, отъ 5 августа.

<sup>2)</sup> Globus — В. ЛЦ, № 6, 1887.

волны равняется 849,59 метрамъ въ 1 секунду или 6,87 г. миль въ 1 минуту — тоже близкая къ скорости для массивныхъ однородныхъ породъ, каковыя слагаютъ Тянь-шань между Ташкентомъ и Вѣрнымъ; мало отличается также отъ скорости среднегерманскаго землетрясенія 6 марта 1872 г. определенной Зеебахомъ въ 742 м. въ 1" или 6 миль въ 1')

На основаніи всѣхъ указанныхъ соображеній и сопоставленій скоростей, я считаю наивѣроятнѣйшимъ временемъ наступленія сильнѣйшаго удара въ г. Вѣрномъ — 4 часа 35 м. утра 28 мая 1887 г. За первымъ ударомъ слѣдовали другіе, продолжавшіеся, какъ уже выше сказано, 1—2 минуты; всѣ они вѣроятнѣе могутъ быть оцѣнены полными 10-ю баллами скалы Росси-Форея. Цѣлый день 28 мая повторялись частые удары, но уже болѣе слабые; они слѣдовали съ промежутками въ 2—3 минуты, какъ сообщаютъ очевидцы; продолжались они всю слѣдующую ночь; 29 мая колебаніе и удары стали слабѣе, но все-таки довольно часты, хотя число ихъ неизвѣстно въ точности; 30 мая удары и колебанія почвы значительно ослабѣли, а 31 мая удары повторились только раза 4—5 въ день и раза два ночью. Въ послѣдующіе дни и мѣсяцы удары продолжались постепенно ослабѣвая и съ большими промежутками. Изъ нижеприведеннаго перечня видно, что они еще до сихъ поръ не совершенно успокоились. Такимъ образомъ болѣе слабые удары предшествовали и слѣдовали за сильнѣйшимъ въ 4 ч. 35 м. Хотя эти ужасные удары продолжались только 1—2 минуты, но этого было достаточно, чтобы „разрушить совершенно и сдѣлать невозможными къ обитанію всѣ безъ исключенія каменные (кирпичные) дома какъ въ г. Вѣрномъ, такъ и въ нѣкоторыхъ окрестныхъ селеніяхъ“<sup>2)</sup>. „Въ первую минуту, — пишетъ г. Ульяновъ<sup>3)</sup>: — когда пыль обрушивающихся строеній покрывала густымъ облакомъ весь городъ, всѣмъ казалось, что городъ болѣе не существуетъ, что разрушены всѣ его зданія безъ исключенія. Впослѣдствіи оказалось, что нѣкоторые дома устояли, хотя въ стѣнахъ ихъ и образовались громадныя трещины. Замѣчательно, что менѣе всего повреждены дома, построенные по направленію отъ юга къ сѣверу, т.-е. отъ горъ къ долинѣ (равнинѣ)<sup>4)</sup>. Это явленіе г. Ульяновъ справедливо объясняетъ тѣмъ, что „очагъ землетрясенія былъ очевидно гдѣ-то въ глубинѣ горъ, недалеко отъ Вѣрнаго“. Кромѣ того, уцѣлѣло большинство деревянныхъ домовъ, гдѣ развалились только всѣ печи и попадали трубы. „Деревянные дома съ непрочнымъ фундаментомъ покосились“. Новыя болѣе массивныя постройки пострадали сильнѣе другихъ. „Губернаторскій домъ, четыре зданія гимназій, архіерейскій домъ съ церковью, какъ зданія двухъ-этажныя, разрушились преимущественно въ своихъ верхнихъ частяхъ. У

<sup>1)</sup> Эти цифры нѣсколько отличаются отъ тѣхъ, которыя находятся въ одномъ изъ моихъ предварительныхъ отчетовъ (Изв. Имп. Русск. Геогр. Общ. т. XXIV); это потому, что при публичномъ сообщеніи въ Геогр. Общ. я приводилъ ихъ только какъ приблизительныя.

<sup>2)</sup> Донесеніе военнаго губернатора отъ 5 августа 1887 г., № 16758.

<sup>3)</sup> Турк. вѣдом. № 25, 23 іюня 1887 г.

нихъ обрушились фронтоны, обвалились углы, частью провалились стѣны и потолки. Нижніе этажи этихъ зданій пострадали, сравнительно, менѣе и покрылись только значительными трещинами“; „отъ колокольни, величественно возвышавшейся надъ соборомъ, неосталось никакого слѣда, только на землѣ лежалъ желѣзный остовъ острокопечной верхушки ея съ однимъ небольшимъ колоколомъ“; стѣны самого собора частью растрескались, частью разрушились, особенно сѣверная и южная. Церковь Покрова Пресвятыя Богородицы, построенная всего три года тому назадъ, представляла самый печальный видъ разрушенія. Колокольня и стѣны ея, за исключеніемъ одной восточной, превратились въ безформенную груду кирпичей (фиг. 1). Подобный же видъ предста-

Фиг. 1.



Покровская церковь, разрушенная землетрясеніемъ 23-го мая 1887 г.

влили и многія другія зданія. Но ужаснѣе всего были послѣдствія землетрясенія въ горахъ и въ предгоріяхъ: цѣлыя скалы обрушились въ ущелья и долины, заваливая аулы со всѣми жителями и скотомъ. Грохотъ и гулъ въ горахъ были оглушительны. Но въ первый день землетрясенія еще не знали вполнѣ размѣра бѣдствій, причиненныхъ подземною силою въ горахъ. Догадывались только, что тамъ происходитъ что-то ужасное“ <sup>1)</sup>. „Вода въ городѣ по арыкамъ перестала течь, вслѣдствіе обваловъ въ горахъ, запрудившихъ рѣчку“ <sup>2)</sup>. Среди населенія распространилась всеобщая паника; въ первую минуту почти никому въ голову не приходила мысль о томъ, что надо спастись и спасать другихъ. Всѣ удѣлѣвшіе выскочили—кто въ чемъ былъ—на улицы, гдѣ сидя или лежа, вслѣдствіе продолжавшихся колебаній, ожидали казавшейся неми-

<sup>1)</sup> Турк. Вѣд. № 25.

<sup>2)</sup> Турк. Вѣд. 30 іюня 1887 г.



нуемой гибели <sup>1)</sup>. Черезъ четверть часа послѣ землетрясенія всѣ жители города стали равны по положенію и состоянію. Почти всѣ выбѣжали безъ одежды, босыми и ни у кого не было ни гроша денегъ. Первою заботою у всѣхъ было прикрыть свою наготу“. „Многіе, опомнившись отъ перваго испуга, не доискивались своихъ родныхъ, близкихъ. Матери бросились доставать изъ полуразрушенныхъ домовъ своихъ забытыхъ дѣтей... Другіе спѣшили вынести что было можно изъ одежды и болѣе цѣннаго имущества. Между тѣмъ подземные толчки и сотрясеніе почвы время отъ времени повторялись. Поврежденныя и распатанныя стѣны домовъ не выдерживали новыхъ толчковъ и обрушивались то здѣсь, то тамъ, погребая подъ своими развалинами неосторожныхъ“ и увеличивая число человѣческихъ жертвъ, и безъ того уже значительное. Такъ погибли нѣсколько человѣкъ, и между прочимъ одна женщина, выносившая одного за другимъ своихъ дѣтей, была завалена въ то время, когда спасала своего послѣдняго ребенка.

„Незавидно было положеніе горожанъ города Вѣрнаго въ это злополучное утро“, пишетъ военный губернаторъ А. Я. Фриде, „но еще болѣе бѣдственно было положеніе заключенныхъ въ Вѣрненской военной гауптвахтѣ и въ тюремномъ замкѣ, въ которыхъ содержалось большое число арестантовъ (на гауптвахтѣ 44, а въ тюрьмѣ 175 человѣкъ). Колебаніе почвы и сильный страхъ, имъ причиненный, помѣшали караулу озаботиться тотчасъ о выпускѣ арестантовъ и послѣдніе оказались въ большой опасности. Вѣтхое зданіе гауптвахты, будучи изъ сырцоваго кирпича, не могло противустоять сильнымъ подземнымъ толчкамъ и разрушилось при первыхъ ударахъ, похоронивъ подъ своими развалинами многихъ арестантовъ, изъ которыхъ 10 человѣкъ вырыты уже мертвыми; въ тюрьмѣ же, благодаря прочности главнаго зданія, несчастныхъ случаевъ съ людьми, кромѣ нѣсколькихъ легкихъ ушибовъ, не было, несмотря на то, что послѣ первыхъ же ударовъ завалило кирпичами, сыпавшимися изъ стѣнъ, входную дверь, такъ что спасаться можно было только продѣлавши выходъ; при этомъ нѣкоторые арестанты выказали замѣчательное самоотверженіе по спасенію товарищей; такъ, таранчинецъ Заиръ Сатыбалдинъ и казакъ Варфоломей Мочаловъ, выломавъ дверь своей камеры, не искали собственнаго спасенія, а съ неустрашимостью, засвидѣтельствованной всѣми арестантами и тюремнымъ начальствомъ, помогали открыть двери другихъ камеръ, чѣмъ несомнѣнно спасли многихъ своихъ товарищей по заключенію отъ увѣчій, а можетъ быть и отъ смерти, такъ какъ нѣкоторые изъ нихъ, въ томъ числѣ женщины, отъ страха и удушливой пыли въ камерахъ лишились чувствъ и были вынесены названными арестантами на рукахъ“ <sup>2)</sup>. Не менѣ пострадали солдаты въ лагерѣ, гдѣ погибло 14 человѣкъ и много ранено „подъ развалинами глинобитныхъ и очень вѣтхихъ бараконъ, разрушившихся отъ первыхъ толчковъ землетрясенія“. Уже вскорѣ послѣ первыхъ губительныхъ толчковъ появились на улицахъ медленно дви-

<sup>1)</sup> Донесеніе воен. губери. отъ 5 августа.

<sup>2)</sup> Донес. воен. губери. за № 16758.

гающіяся телѣги, нагруженныя ранеными и ушибленными: это везли съ гауптвахты искалѣченныхъ, но случайно оставшихся въ живыхъ арестантовъ и нѣкоторыхъ изъ казенныхъ нижнихъ чиновъ <sup>1)</sup>. Въ эти первые часы ужаснаго и всеобщаго смятенія солдаты „подавали самый похвальный примѣръ самоотверженія и человѣколюбивой готовности помочь бѣдствующимъ; они безропотно и охотно трудились на пользу несчастныхъ, отказываясь даже принять предлагаемое имъ вознагражденіе <sup>2)</sup>“. Тѣмъ временемъ городскія власти усердно старались, съ своей стороны, хотя нѣсколько возстановить порядокъ въ смятенномъ городскомъ населеніи. Военный губернаторъ, А. Я. Фриде, съ повязанною головою (онъ былъ раненъ въ голову и ноги) разбѣжалъ въ экипажѣ, дѣлая нужныя распоряженія и организова первую помощь“. Особенно большой недостатокъ былъ въ печеномъ хлѣбѣ и въ помѣщеніи, поэтому доставленіе того и другого было первою заботою властей. Вскорѣ была организована продажа печенаго хлѣба по цѣнѣ, бывшей до землетрясенія; бѣднымъ раздавали даромъ; въ доставленныхъ юртахъ организована была медицинская помощь ушибленнымъ и раненымъ, для чего употреблены были всѣ наличные врачи. Преосвященный Неофитъ совершилъ всенародное молебствіе въ походной церкви-палаткѣ. „Множество народа стеклось сюда: всѣ набожно молились объ избавленіи себя и ближнихъ отъ страшной гибели, отъ смерти, ежеминутно грозившей отовсюду. Порою молитвы прерывались подземнымъ гуломъ и сильными сотрясеніями земли... Народъ не разбѣгался въ ужасѣ, а только, падая на колѣни, учащенно крестился... Убитыхъ отпѣвали по нѣсколько десятковъ сразу. Многие изъ нихъ были погребены безъ гробовъ, въ большихъ могилахъ, по нѣсколько человѣкъ въ каждой“.

Помимо ужаса, наведеннаго на жителей страшнымъ землетрясеніемъ, они еще болѣе встревожились слухами о намѣреніи киргизъ и другихъ мусульманъ напасть на пострадавшій городъ съ цѣлью грабежа. Хотя слухи эти были совершенно неосновательны, но они волновали напуганное населеніе. Вечеромъ, 28 мая, къ нимъ прибавились другіе слухи о потокахъ воды и грязи, надвигающихся изъ горъ и могущихъ затопить городъ. Слухи эти имѣли нѣкоторое основаніе, потому что большіе глинистые обвалы, происшедшіе въ горахъ, завалили рѣки Малую и Большую Алматинки, Аксай и др., которыя поэтому несли большое количество глины; но во всякомъ случаѣ, по свидѣтельству очевидцевъ, они не могли угрожать опасности городу, особенно въ Малой Алматикѣ и Мокрой Щели, „тѣмъ не менѣе оплывины эти производили впечатлѣніе опасности даже въ лагерѣ; поэтому не трудно представить себѣ въ какомъ страхѣ находились горожане, не внимая конечно никакимъ резоннымъ успокоеніямъ, тѣмъ болѣе что сильныя сотрясенія почвы продолжались съ малыми промежутками“ <sup>3)</sup>. Въ такомъ тревожномъ состояніи провели вѣрненцы весь слѣдующій день и ночь. На

<sup>1)</sup> Турк. Вѣд. № 23.

<sup>2)</sup> Ibidem.

<sup>3)</sup> Рапортъ военнаго губернатора за № 16758.

третій день, въ субботу 30 мая, около 11 час. утра паника достигла ужасающихъ размѣровъ, когда киргизы, прискакавшіе изъ горъ, подтвердили слухъ о потокахъ воды и грязи, которыми городъ скоро затопить. „Трудно представить себѣ начавшуюся суматоху! Все пришло въ ужасающее смятеніе и бросилось бѣжать изъ города; тысячи людей разныхъ національностей: киргизы, казаки, малороссы, китайцы, таранчи, дунганы и пр. и пр. пѣшкомъ, верхомъ и въ экипажахъ, таща дѣтей и женщинъ, устремились по дорогамъ въ Илійскъ и Талгаръ, распространяя на пути невѣрные слухи и увеличивая этимъ панику“. Всякій мчался безъ памяти, не сознавая даже—отчего онъ бѣжитъ и куда. Большинство бѣжало въ нижнюю часть города, которая, еслибы слухъ оказался вѣренъ, прежде всего была бы затоплена водою. Многие бросались черезъ бушевавшую рѣчку, подвергаясь опасности утонуть. Давка была ужасная; нѣсколько человѣкъ были сбиты съ ногъ и сильно помяты. Черезъ часъ-два, не видя ужасавшей воды и грязи, бѣглецы стали возвращаться назадъ. Обезумѣвшіе отъ страха горожане накинулись на киргизъ и другихъ инородцевъ, обвиняя ихъ, совершенно неосновательно, въ умышенномъ причиненіи паники, съ цѣлью грабежа. Только вмѣшательство власти, поддержанной мѣстными войсками, предотвратило ужасныя послѣдствія этихъ столкновеній, хотя немало киргизъ было избито, изранено и даже изувѣчено до смерти расхворившеюся чернью. Военный губернаторъ около полудня, дѣлая объѣздъ, нашелъ въ разныхъ мѣстахъ арестованными и частью избитыми болѣе сотни киргизъ. „Какъ всегда бываетъ при подобныхъ движеніяхъ народной массы, пострадали многіе не повинные, совершенно мирные киргизы, занимавшіеся постановкою юртъ для русскихъ, но при общемъ смятеніи также бросившихся бѣжать изъ города. Обстоятельство это было тѣмъ болѣе прискорбно, что только благодаря киргизамъ городъ былъ снабженъ множествомъ юртъ“.

Въ слѣдующіе дни хотя населеніе сравнительно успокоилось, но все еще было въ тревожномъ, такъ сказать, въ нервномъ настроеніи и весьма чутко относилось ко всякаго рода слухамъ. При такихъ условіяхъ не мудрено, что были случаи умопомѣшательства, особенно среди женщинъ, которыя главнымъ образомъ побуждали мужей бѣжать изъ города, и распространялись нелѣпые рассказы, даже въ іюнѣ и іюль, напр., о провалѣ г. Вѣрнаго во время затмѣнія 7 августа, что въ устахъ киргизъ разрослось уже до провала горъ, до полной темноты въ теченіи 7 дней, общей гибели русскихъ и восстановленія своего господства; всѣ эти басни заставили, съ одной стороны, киргизъ раньше времени покинуть ихъ роскошныя кочевья въ горахъ, напр., на Кебинѣ, что доставило много затрудненій нашимъ экскурсіямъ, а съ другой—развили своеволіе, особенно въ беспокойномъ родѣ сары-багишей, образовавшихъ тотчасъ же разбойничьи шайки, желавшія, по примѣру своихъ предковъ, поживиться насчетъ сосѣдей; шайки эти особенно грабили на р. Койсу, гдѣ мы встрѣчали цѣлыя аулы, пострадавшіе отъ сары-багишей, иногда только за день до нашего пріѣзда.

Въ другихъ мѣстахъ, т.-е. въ окрестныхъ селеніяхъ, землетрясеніе отразилось

слабѣ и не вызвало такихъ разрушеній, а вмѣстѣ съ тѣмъ и такихъ беспорядковъ, какъ въ Вѣрномъ, кромѣ весьма понятной въ такіе моменты паники.

Землетрясеніе въ г. Вѣрномъ съ окрестными селеніями причинило значительные убытки; общую потерю оцѣниваютъ слишкомъ въ два съ половиною (2,548,208) милліона руб. сер., причемъ въ эту сумму не входятъ убытки, тоже довольно значительные, отъ уничтоженія обвалами большихъ площадей лѣса въ горахъ, именно въ ущельяхъ: Поганомъ, Алматинскихъ, Карагайлинскомъ, Аксайскомъ и Каргаудинскомъ, а также отъ завала лѣсныхъ питомниковъ и кардонныхъ домовъ <sup>1)</sup>.

При такихъ громадныхъ разрушеніяхъ удивительно, что число человѣческихъ жертвъ оказалось къ счастью сравнительно небольшое; на все населеніе Вѣрнаго (около 30,000) съ окрестностями менѣе 1<sup>0</sup>/. „Всего убито было, 28 мая, 329 человекъ и умерло въ лазаретѣ отъ послѣдствій ушибовъ 3 человекъ; всего умершихъ и убитыхъ 332 человекъ“ <sup>2)</sup>. Собственно въ г. Вѣрномъ и соединенныхъ съ нимъ стапцахъ Больше-и Мало-Алматинскихъ убито 161 человекъ; изъ нихъ 118 малолѣтнихъ или дѣтей, 10 арестантовъ, да 14 солдатъ; въ горахъ подъ обвалами погибло всего 154 человекъ, изъ нихъ 87 киргизъ <sup>3)</sup>. Въ Любовномъ селеніи погибъ одинъ, въ таранчинскихъ селеніяхъ, между Талгаромъ и Тургенемъ—5. По народностямъ, число убитыхъ и умершихъ распределяется такъ: русскихъ 169, киргизъ 92 (5 киргизъ убито въ городѣ), таранчей 32, татаръ 18, сартовъ 11, дунганъ 10. Кромѣ убитыхъ было много болѣе или менѣе сильно раненыхъ, ушибленныхъ и увѣчныхъ, изъ коихъ обращалось къ врачебной помощи 363 человекъ; причемъ поврежденія 160 человекъ признаны тяжкими и 3 изъ нихъ умерли, какъ сказано выше.

Такова въ общихъ чертахъ, по свидѣтельству очевидцевъ, исторія событій въ городѣ Вѣрномъ въ теченіе первыхъ трехъ дней послѣ землетрясенія 28 мая.

Приступая къ изученію слѣдовъ этого землетрясенія мы прежде остановились на г. Вѣрномъ, гдѣ больше всего было этихъ слѣдовъ въ ихъ первоначальномъ видѣ, хотя многія уже совершенно исчезли, такъ какъ разборка зданій и воздвиганіе новыхъ началось вскорѣ послѣ 28 мая. При изслѣдованіи характера разрушенія въ Вѣрномъ, мы главнымъ образомъ опредѣляли положеніе трещинъ въ стѣнахъ и направленіе сдвиговъ по нимъ.

Въ нижеслѣдующемъ перечнѣ нашихъ наблюденій въ г. Вѣрномъ я помѣщаю преимущественно улицы, простирающіяся приблизительно въ меридіональномъ направленіи, и изъ нихъ только тѣ, которыя дали болѣе богатый матеріалъ; точно также многіе дома, совершенно разрушенные или разобранные, также пропущены. Для лучшей ориентировки прилагаю планъ г. Вѣрнаго и станицъ Большой и Малой Алматинскихъ съ

<sup>1)</sup> См. рапортъ Военнаго Губернатора за № 16758.

<sup>2)</sup> Ibidem.

<sup>3)</sup> Обзоръ Семирѣченской Области за 1887 г. Приложение къ Всеподданнѣйшему отчету Военнаго Губернатора, стр. 52.

ближайшими окрестностями; планъ этотъ (фиг. 2) представляетъ фотографическую копию съ городского плана; на немъ легко видѣть весьма правильное расположеніе Вѣрненскихъ улицъ, изъ которыхъ однѣ (O-W) направляются почти согласно съ простираніемъ хребта Заилійскаго Алатау, т.-е. NO 5 h, а другія (названныя на планѣ сѣверо-южными S-N) простираются перпендикулярно предыдущимъ. Такое правильное расположеніе улицъ, съ одной стороны, облегчило самое изслѣдованіе, а съ другой—дало возможность сразу ориентироваться въ выборѣ улицъ и помогло опредѣленію общихъ выводовъ, вытекающихъ изъ наблюденій надъ трещинами въ разрушенныхъ зданіяхъ г. Вѣрнаго.

### Пограничная улица.

На углу Кульджинской улицы каменный одноэтажный домъ, за исключеніемъ нѣкоторыхъ внутреннихъ стѣнъ и незначительной части наружной продольной западной, простирающейся NW 350°, вполне разрушенъ. Остальные вывалились наружу. Большая часть трещинъ въ углубившихся частяхъ имѣетъ паденіе въ 45° почти N и S, пересѣкаясь подъ прямымъ угломъ. Заборы сохранились, даже и по Пограничной улицѣ, простирающейся почти N. Флигель дома совершенно разрушился.

Домъ Рудцаго. Юго-восточный уголъ вывалился наружу; стѣны потрескались. Въ вывалившемся углу плоскость сброса падаетъ на SO 145° подъ < 65°. Круглыя печи въ желѣзномъ кожухѣ сохранились. Надземная часть погребя развалилась, кромѣ одной стѣны, простирающейся NW 350°; въ ней замѣтна трещина съ паденіемъ 40° на SO 170°. Въ верхней части кладовой наибольшее разрушеніе въ углахъ, причемъ верхъ южной стѣны выпяченъ къ югу. Главныя трещины въ кладовой имѣютъ паденіе въ 60° на SO 160°. Гуль и толчки, по показанію свидѣтелей, шли 28 мая по направленію съ SSW.

Домъ Бонашика, кромѣ фундамента, совершенно разрушенъ.

Домъ Баума. Наибольшее разрушеніе въ SW углу, гдѣ главнѣйшее паденіе трещинъ на SO 80° подъ угломъ 45°—40°—35°. Часть устоявшей южной стѣны наклонилась на югъ; въ этой же стѣнѣ, въ средней ея части, видѣтъ горизонтальный сдвигъ въ 10 сантим. по направленію къ югу. Западная стѣна сверху выпала наружу, оставшаяся часть наклонилась на западъ. Въ сѣверной стѣнѣ главныя трещины направлены на SW 257° подъ угломъ 48°—50°. Въ сѣверной стѣнѣ замѣтенъ сдвигъ къ сѣверу, величиной въ 3 сантим.

Домъ Большакова. Въ сѣверной стѣнѣ замѣтна трещина (2 сантим. шириною) въ сторону SW 255° подъ угломъ 50° съ незначительнымъ сдвигомъ по горизонтальной плоскости къ NW 345°. Стѣны N и S отдѣлились кнаружи по болѣе или менѣе вертикальнымъ трещинамъ. Фундаментъ цѣль.

Судя по рассказамъ свидѣтелей, гуль и удары во время катастрофы направлялись съ SW 215°.

Домъ Холодниковъ. Стѣны дали нѣсколько трещинъ въ углахъ, а часть юго-западнаго угла вывалилась наружу. Трещина въ NO углу направлена къ NO 55° подъ угломъ 60°; въ NW углу—на SW 235°, < = 65°.

Домъ Налимова. Сильно пострадалъ, равно какъ и флигель, у котораго восточная стѣна въ верхней части вывалилась наружу. Удары и шумъ 28 мая слышались съ юга. Верхняя (южная) часть города была уже въ развалинахъ и надъ нею стояли облака пыли, когда начали разрушаться постройки Налимова, хотя промежутокъ времени между катастрофой города на югѣ съ началомъ разрушенія дома Налимова, былъ, какъ говорить, не болѣе 15 секундъ.



Домъ Возняковской. Въ уцѣлѣвшихъ остаткахъ стѣнъ главныя трещины падаютъ на SO 165°, < = 25° до 50°. Сѣверная и южная стѣны вывалились. Печи и трубы свалились къ югу.

Домъ Талызина. Часть южной стѣны (у юго-восточнаго угла) вывалилась къ югу; восточная же стѣна выпячена къ О и ОСО. Наибольшія трещины падаютъ къ SO 165°, уголъ 50°.

Домъ Иванова. Поврежденъ мало. Юго-восточная часть дала трещины по общему направлению къ SO 110°, < = 50°—55°.

Домъ Ладашина. Юго-восточный уголъ вывалился; въ оставшейся части главныя трещины наклонены къ югу. Русская печь свалилась по плоскости, наклоненной въ 45° къ SO 170°.

Домъ Нечаева. Крыша и стѣны упали на SW и S, печи на W.

Домъ Бѣляева. Въ стѣнахъ, простирающихся по меридіональному направлению, наблюдаются двѣ системы трещинъ, падающихъ на NW 350° и SO 170 при углѣ паденія въ 45°—50°.

Домъ Юлдашева. Пострадалъ сильно, особенно разрушеніе видно въ SW углу. Всѣ стѣны вывалились наружу.

Домъ Першина развалился, упавъ къ юго-западу.

Домъ Полумискова. Растрескался по швамъ кладки, особенно плохой здѣсь, хотя и вообще всѣ зданія города сложены были небрежно. Длинная западная стѣна службъ свалилась къ западу. Крыша воротъ, находившаяся въ положеніи NO 70°, во время землетрясенія 28 мая сорвалась и свалилась на землю въ положеніе SO 100°.

Домъ Холодникова. Остались на мѣстѣ только сѣверная стѣна и внутреннія перегородки; остальные три стѣны вывалились наружу, а крыша свалилась къ югу.

Домъ Середина. Западная стѣна свалилась къ западу.

Домъ Владимірова на углу Торговой ул. Наибольшее разрушеніе въ NW углу, а также въ западной и сѣверной стѣнахъ.

Домъ Толмачева. Развалился. Общее направленіе паденія стѣнъ (западной, южной и сѣверной), печей, трубъ и крыши къ SW 260°. Здѣсь сила удара была особенно интенсивной и разрушила домъ сразу. Направленіе удара, по разсказу хозяина дома, было съ SW. Послѣ предварительнаго слабого толчка, замѣчено было время, часы полковника Толмачева показывали 4 ч. 10 мин.

Домъ Шубина, № 36. Половина сѣверной стѣны выпала. Въ южномъ концѣ восточной стѣны нѣсколько трещинъ, наклоненныхъ къ SO 157° подъ угломъ 40°—45°.

Домъ Шубина, № 37. Весь домъ накренился къ NW; сѣверная стѣна выпала.

Домъ Королева. На цѣломъ фундаментѣ лежитъ груда кирпичей.

Домъ Жданова. Разрушена юго-западная часть дома, остальное цѣло, лишь въ NO части наблюдаются трещины, паденіе которыхъ главнѣйше на NO 25°, < = 45°.

Домъ Копыткова разрушенъ, но крыша осталась на деревянныхъ столбахъ.

#### Алматинская улица (N—S, № 29, см. планъ).

Домъ купца Исфандерова сложенъ изъ полубожженнаго кирпича на кирпичномъ фундаментѣ; фундаментъ остался почти невредимъ, между тѣмъ какъ сѣверная и южная стѣны обвалились, а въ восточной и западной—трещины съ паденіемъ въ 52°—57° на NW 350°.

Домъ полковника Шевагина. Заборъ обвалился на востокъ.

Домъ Брылова. Наиболѣе пострадала западная стѣна, въ которой трещины съ паденіемъ въ 61° на SO 170° и въ 51° на NW 350°.

Домъ Михелева. Обвалились южная и сѣверная стѣны.

Домъ Гребенщикова. Наибольше пострадали южная и сѣверная стѣны; маленькую кирпичную колонку, стоявшую передъ домомъ, опрокинуло на NW 290°.

Домъ Клекоткина. Въ западной стѣнѣ трещины съ среднимъ паденіемъ въ 57° на SO 170°; южная стѣна частью вывалилась.

Домъ Суслова. Южная стѣна отчасти вывалилась.

Домъ Васильевой. Обвалилась западная стѣна и отчасти остальные.

Домъ Филиппа Кулькина. Южная и сѣверная стѣны обвалились; въ западной и восточной — трещины съ паденіемъ 65° на SO 170° и въ 67° на NW 350°.

Домъ Литвинова. Южная и сѣверная стѣны обвалились, а въ западной — трещины съ угломъ паденія 70° на SO 170°.

Домъ полковника Томскаго. Упала кирпичная колонка, поддерживавшая крыльцо, на SO 163°.

### Казначейская улица (N—S, № 28).

Домъ Колесникова. Въ западной стѣнѣ трещины съ паденіемъ въ 56° на SO 170°; юго-западный уголъ дома отвалился съ плоскостью разлома SO 165° и паденіемъ въ 67°. Во флигелѣ обвалились южная и сѣверная стѣны, тогда какъ западная и восточная уцѣлѣли.

Домъ Ивана Ромухова. Южная и западная стѣны развалились; въ восточной — трещины съ паденіемъ въ 60° на NW 350° и 41° на SO 170°; кирпичная печь обвалилась SO 110°.

Домъ Скляровой. Кирпичный столбъ у воротъ повернуло на 12° по направленію къ сѣверу. Въ домѣ вывалилась восточная стѣна, въ западной — трещины съ угломъ паденія въ 57° на NW 350°, а въ южной — съ угломъ въ 35° на SW 260°.

Службы губернаторскаго дома. Южная стѣна вывалилась, въ западной — трещины съ паденіемъ 72° на SO 170°; въ сѣверной также трещины, паденіе 57° на SW 260°. Въ помѣщеніи для садовника обвалились сѣверная и южная стѣны на югъ. Въ уцѣлѣвшихъ стѣнахъ замѣтны горизонтальные трещины; западная и восточная стѣны преимущественно вывалились на западъ.

Домъ Захара Склярова. Южная и восточная стѣны обвалились; въ западной — трещины съ паденіемъ 60° на NW 350° и 64° на SO 165°.

Архіерейскій домъ. Заборъ съ простираниемъ SO 170° обвалился на западъ, часть же съ простираниемъ SW 260° исключительно на югъ. Весь домъ расшатанъ и грозитъ паденіемъ.

Домъ Богоявленскаго. Въ южной стѣнѣ трещины съ паденіемъ 45° на SW 263°.

Домъ уѣзднаго казначейства. Въ камерѣ кирпичный сводъ далъ трещину съ простираниемъ NO 85°.

Въ зданіи хромотографіи. Южная стѣна вывалилась; одна изъ печей внутри зданія упала по направленію SW 205°, а другая на SO 130°.

### Первогильдейская улица (N—S № 27).

Домъ мѣщанина Галушкина. Вывалилась западная стѣна, въ южной — трещины съ паденіемъ 55° на SW 260°.

Домъ Кирилова. Южная стѣна вывалилась, западная также; въ восточной — трещины съ угломъ паденія 57° на SO 170°.

Домъ Руденкова. Средины стѣнъ вывалились, остались углы. Въ западной — трещины съ паденіемъ 69° на NW 350° (см. фиг. 3).

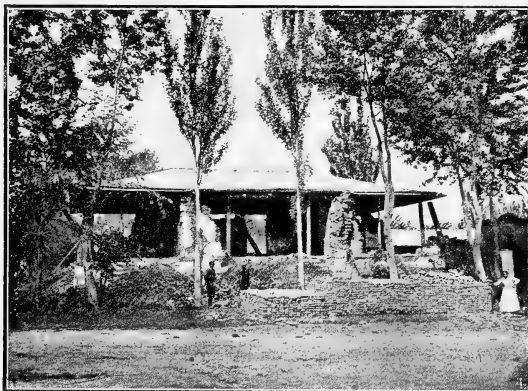


Домъ Мусатова. Вывалилась западная стѣна по направленію на востокъ.

Домъ Яницкаго. Обвалились южная и сѣверная стѣны; въ восточной — трещины съ среднимъ паденіемъ въ  $40^\circ$  на SO  $170^\circ$ , изъ которыхъ одна проходитъ насквозь черезъ восточную и западную стѣны.

Домъ Соколова. Южная и западная стѣны совершенно вывалились, остальныя съ обвалившимися косяками.

Фиг. 3.



Домъ Береснова. Въ южной стѣнѣ трещины съ паденіемъ  $49^\circ$  на NO  $80^\circ$  и  $58^\circ$ , также на NO  $80^\circ$ ; въ западной стѣнѣ трещины съ паденіемъ  $55^\circ$  на SO  $170^\circ$  и  $56^\circ$  на NW  $350^\circ$ .

Винокуренный заводъ Клименко. Стѣны дали трещины; пристроенныя къ заводу галлерей вывалились; наиболѣе пострадали западныя стѣны. Свалилась желѣзная заводская труба, стоявшая на каменномъ фундаментѣ, по направленію на SW  $250^\circ$ .

#### Проспектъ генерала Колпаковского (N—S, 26).

Домъ Родзевича. Обвалились всѣ четыре стѣны, фундаментъ остался неповрежденнымъ. Судя по рассказамъ, первую упала южная стѣна.

Домъ Самохвалова. Южная и сѣверная стѣны отчасти вывалились. Всѣ стѣны прорѣзаны разнообразными трещинами.

Домъ Дядькина. Трещины въ западной стѣнѣ съ среднимъ паденіемъ  $55^\circ$  на SO  $170^\circ$ .

Домъ Вуханцева. Южная стѣна совершенно вывалилась, сѣверная—отчасти, въ западной—трещины въ вершокъ шириною съ паденіемъ  $52^\circ$  на NW  $350^\circ$ .

Домъ Голоскокова. Южная стѣна вывалилась, западная—отчасти обвалилась, въ восточной—вертикальныя трещины.

Домъ Менжулина. Въ восточной стѣнѣ трещины съ паденіемъ  $67^\circ$  на SO  $170^\circ$ , южная стѣна вывалилась.

Домъ Серебрякова. Въ западной стѣнѣ трещины съ паденіемъ  $62^\circ$  и  $65^\circ$  на NW  $350^\circ$ , а въ восточной—съ паденіемъ  $50^\circ$ — $65^\circ$  на SO  $170^\circ$ , южная стѣна отчасти вывалилась.

Домъ Мазаева. Вольшія сквозныя трещины въ стѣнахъ: въ южной стѣнѣ съ паденіемъ  $45^\circ$  на

NO 80° и съ паденіемъ 50°—56° на SW 260°; кромѣ того, въ той же стѣнѣ имѣются вертикальныя трещины.

Губернаторскій домъ. Южная и западная стѣны во 2-мъ этажѣ отчасти обвалились, въ оставшейся части южной стѣны имѣются 4 широкихъ трещины съ паденіемъ въ 60° на SW 260; двѣ трещины съ паденіемъ 55° на NO 80°. Нижний этажъ съ трещинами по всѣмъ направленіямъ и съ паденіемъ отъ 38°—50°.

Мужская гимназія. Часть южной стѣны вывалилась; въ сѣверной—сквозныя трещины черезъ оба этажа, съ паденіемъ 85° на SW 260°; въ западной стѣнѣ трещины съ паденіемъ отъ 43°—67° на SO 170°.

### Бульварная улица (N—S, 25).

Женская гимназія. Наиболѣ пострадали южная и сѣверная стѣны. Верхній этажъ обвалился мѣстами совершенно, мѣстами вывалились простѣнки между окнами; въ западной стѣнѣ трещины шириною до 9 сантим. съ паденіемъ отъ 68°—73° на SO 170°; въ сѣверной стѣнѣ сквозныя трещины съ паденіемъ отъ 42° до 49° на SW 260°. Водосточныя трубы разорваны на нѣсколько частей и наклонены на NW 350°.

Домъ Шероватовой. Разрушенъ сравнительно мало, такъ что потолки не обвалились, а дали только трещины съ простираниемъ SO° 170. Въ одномъ мѣстѣ уголъ (юго-западный) отошелъ по вертикальной трещинѣ на 33 сантим.

Домъ Атанчука. Кирпичный столбъ у воротъ повернулся на уголъ въ 15° по направленію на западъ.

Домъ Емельянова. Стѣны разрушены совершенно. Фундаментъ изъ жженого кирпича покосился и имѣетъ паденіе въ 12° на SO 170°.

Домъ Курилова. Вывалился уголъ вертикально съ плоскостнымъ простираниемъ NO 25°.

Домъ Соколовой. Сѣверная стѣна отошла на 4 вершка; западная—отчасти обвалилась, въ восточной—трещины съ паденіемъ 75° на NW 350°.

Домъ Николая Федорова. Въ западной стѣнѣ трещины съ паденіемъ въ 41°—46°—57° на SO 170°, а въ южной—съ паденіемъ 58° на SW 260°; вообще же, трещины по всѣмъ направленіямъ.

Домъ Клименко. Западная стѣна вывалилась; въ южной—трещины, падающія на SW 260°, < = 65°.

Городское училище. Вся южная стѣна обрушилась, въ западной—трещины съ паденіемъ въ 55°—57° на SO 170°.

Военное собраніе. Верхній этажъ обвалился; въ нижнемъ этажѣ, въ южной и сѣверной стѣнахъ трещины по всѣмъ направленіямъ; во внутренней стѣнѣ, имѣющей простирание съ сѣвера на югъ, а также и въ наружной западной—трещины съ паденіемъ 50° на NW 350°.

Домъ Василія Тиханова. Въ восточной стѣнѣ трещины, падающія на NW 350° подъ угломъ 85°; внутри дома печка обрушилась на SO 140°.

Домъ Петрова. Во флигелѣ обрушило восточную стѣну на NO 60°; отдѣльные кирпичи отлетѣли на 4—5 саж. при высотѣ зданія около 3 сажень; южная стѣна вывалилась; въ домѣ своды надъ окнами въ западной стѣнѣ сдвинуты на востокъ на 4 вершка.

### Гостинный дворъ (на плавлѣ 10).

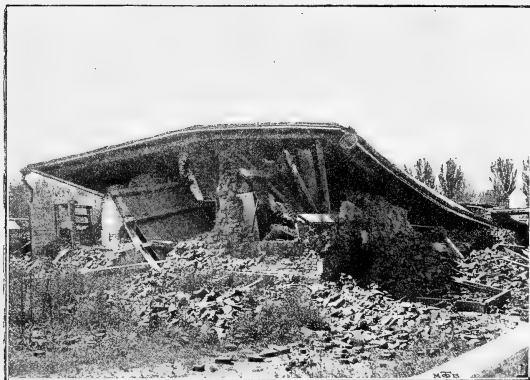
Главное зданіе по длинѣ поставлено въ направленіи NO 75°. Оно получило весьма сильныя поврежденія. Сѣверо-восточный уголъ растреснутъ и главныя трещины на NO 65° при углѣ паденія 45°.

Сѣверная стѣна выпячена къ N, сѣверо-западный уголъ представляетъ ясныя трещины, плоскость паденія которыхъ опредѣлилась особенно точно на NW 270°,  $\angle = 60^\circ$ . Юго-западный вѣншнй корридоръ вывалился. Въ юго-западной стѣнѣ трещины по направленію на SW 215° подъ угломъ 55°. Верхняя часть зданія въ юго-западномъ углу вывалилась на юго-западъ. Киричные столбы южнаго корридора вывалились на югъ. Въ юго-восточномъ углу зданія—вертикальныя трещины (фиг. 4 и 5).

Фиг. 4.



Фиг. 5.



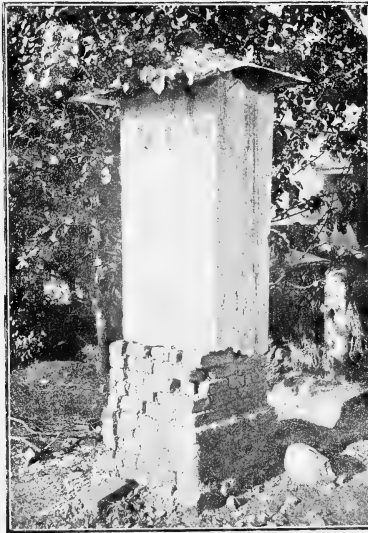
Второй корпусъ не представляетъ рѣзкихъ особенностей; главныя трещины въ стѣнахъ направлены къ SO и NW.

Третій корпусъ пострадалъ въ юго-восточномъ углу, гдѣ трещины падаютъ на SO 120° подъ  
Труды Геол. Ком. Т. X, № 1.

угломъ  $45^\circ$ . Въ сѣверо-восточномъ углу трещиноватость на NO. Сѣверный 4-й корпусъ разрушенъ совершенно, а 5-й и 6-й корпуса пострадали меньше.

Домъ Алафузова. Сѣверная стѣна выпала къ N, южная къ S. Въ зданіи склада для чаевъ трещины на S и SW. Въ саду столбъ (поставленный какъ украшеніе) представляетъ интересное явленіе. Верхняя часть повернулась по плоскости основанія на  $8^\circ$  влѣво, причемъ, надо замѣтить, что въ настоящемъ положеніи центр тяжести верхней части не находится на одной вертикальной линіи съ центромъ тяжести основанія. Размѣры столба: высота 2,22 метра, ширина 0,63, высота оставшейся нижней части 0,74 м. (см. фотографію, фиг. 6). Пространіе одной изъ вертикальныхъ сторонъ остав-

Фиг. 6.



шагося на мѣстѣ основанія—NO 75; трещиноватость его направлена по швамъ кирпичной кладки; верхняя же, повернутая часть вполне цѣла, безъ трещинъ.

Складъ при домѣ Пугасова расшатанъ трещинами въ разныхъ направленіяхъ. Столбы подъ навѣсомъ при дождѣ нагнуло къ NW  $345^\circ$ , причемъ въ верхнихъ частяхъ ихъ произошли сдвиги къ сѣверо-западу.

Два дома Затиньщикова. Двухъ-этажные дома эти особенно пострадали въ верхнихъ частяхъ. Въ первомъ, гдѣ помѣщалась почтово-телеграфная контора, наибольшія трещины находятся въ сѣверномъ концѣ дома по направленію къ NW  $295^\circ$ ,  $\angle = 55^\circ$ . Въ южной половинѣ—трещины болѣе или меньше вертикальныя съ простираніемъ SW  $240^\circ$ . Второй домъ представляетъ широкія трещины вверху. Пространіе ихъ NW  $350^\circ$ , паденіе  $50^\circ$ .

Два дома Афоняшева. Разрушены особенно въ сѣверо-западныхъ углахъ; главныя трещины направлены на NW 335°, < = 65°—70° и SW 190°, < = 70°.

Въ одномъ изъ домовъ Зенкова выпала наружу средина сѣверной стѣны и во всѣхъ остальныхъ стѣнахъ замѣтны трещины къ сѣверу. Въ другомъ домѣ, къ западу отъ перваго, главныя трещины падаютъ къ югу.

Въ зданіи Областного Правленія особенно разрушена верхняя часть и наиболѣе въ сѣверной и южной стѣнахъ. Всѣ перемычки подъ окнами и дверями лопнули, потолочныя балки рухнули и стѣны потрескались.

#### Нарынская улица (N—S, 24).

Домъ Милованова. Сѣверная, южная и западная стѣны вывалились, въ восточной — трещины съ паденіемъ 60° на SO 170°.

Домъ Гениной. Домъ развалился; деревянная крыша упала по направленію на NO 80°.

Домъ Червякова. Въ южной стѣнѣ трещины съ паденіемъ 36° на SW 260°, а въ западной—57° на SO 170°.

Домъ Ковалева. Южная стѣна треснула вдоль вертикальной трещиной, шириною 5 сант., въ западной стѣнѣ трещина съ паденіемъ 60° на SO 170°.

Домъ Сапожникова. Сѣверная, южная и западная стѣны вывалились; восточная—нависла на NO 70°.

Домъ Николенко. Западная стѣна отчасти вывалилась, оставшуюся же часть, длиною сажени 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>, повернуло на 7° по направленію на NW 350°.

Домъ Денисенко. Часть западной стѣны наклонилась внутрь дома по направленію на NO 80°.

Домъ Глушкова. Фундаментъ наклонился на SO 170° на 5°. Стѣны развалились.

#### Училищная улица.

Домъ Александровой. Въ южной стѣнѣ трещины съ паденіемъ 60° на SW 260°; колонна передъ домою раскололась по горизонтальной плоскости и повернулась къ сѣверу на 8°; кирпичный заборъ далъ трещину съ паденіемъ 25° на SO 170°.

Домъ Поликарпа Баньтинкова. Въ западной стѣнѣ трещины съ паденіемъ 42° на SO 170°, а въ южной—паденіе 50° на NO 80°.

Домъ купца Алѣева. Часть сѣверной стѣны вдавалась внутрь дома; въ восточной—трещины съ паденіемъ 30° на NW 350° и 47° на SO 170°; въ южной—трещины съ паденіемъ 46° на NO 80°.

Домъ Никанора Григорьева. Восточная стѣна подалась къ западу; юго-западный уголъ дома обвалился по плоскости съ простираниемъ SO 100° и паденіемъ 71° на SW 190°; въ южной стѣнѣ трещины, падающія на SW 260° подъ < 48°.

#### Юсуповская улица (N—S, 23).

Домъ Щербаква. Наибольшее разрушеніе въ юго-восточной части; трещины въ западной стѣнѣ падаютъ на югъ подъ < 50°.

Домъ № 355. Сѣверная и южная стѣны выпали наружу.

Домъ № 356. Оставшаяся часть сѣверной стѣны наклонилась на сѣверъ; остальные разрушены.

Домъ № 357. Верхнія части колоннъ у воротъ упали на востокъ; въ нижней части колоннъ образовались трещины съ паденіемъ на SW 210° подъ < 55°.

Домъ № 358. Наиболѣе пострадали сѣверо-восточная и восточная стѣны.

- Домъ № 359. Наибольше ясны трещины въ сѣверо-западномъ углу съ паденіемъ  $70^\circ$  на NO  $70^\circ$ .
- Домъ № 360. Юго-восточный уголъ разрушенъ, въ западной стѣнѣ трещины съ паденіемъ  $45^\circ$  на сѣверъ.
- Домъ № 361. Южная стѣна нависла наружу и частью обрушилась. Восточная стѣна упала на востокъ. Трещины въ сѣверо-западномъ углу падаютъ на N  $45^\circ$ ; въ другомъ домѣ, рядомъ, отдѣлившаяся стѣна наклонилась на S.
- Домъ № 362. Столбы у воротъ въ верхней части упали на западъ.
- Домъ № 363, Гаврилова. Наибольшее разрушеніе въ SW углу и южной стѣнѣ, которая осыпалась наружу. Во внутренней стѣнѣ (сѣверо-южной) у дверей образовался сдвигъ въ  $2''$  трещиной съ паденіемъ  $60^\circ$  на NW  $320^\circ$  и простираниемъ NO  $230^\circ$ .
- Домъ № 364. Трещина въ западной стѣнѣ съ паденіемъ  $45^\circ$  на N.
- Домъ № 365. Южная и юго-восточная части наиболѣе разрушены; стѣны отдѣлились одна отъ другой вертикальными трещинами.
- Домъ № 366. Часть южной стѣны обрушилась, въ остальной—трещины съ паденіемъ  $50^\circ$  на W.
- Домъ № 367. Сравнительно мало пострадалъ; въ сѣверо-западномъ углу трещины съ паденіемъ  $45^\circ$  на N.
- Домъ № 368, Аликина. Трещины въ W стѣнѣ съ паденіемъ  $55^\circ$  на N.
- Домъ № 371. Наиболѣе пострадала юго-восточная часть, въ западной стѣнѣ трещины съ паденіемъ  $55^\circ$  на NO  $50^\circ$ .
- Домъ № 373. Западная стѣна имѣетъ трещины съ паденіемъ  $60^\circ$  на NO  $30^\circ$ .
- Домъ № 374. Трещины въ сѣверо-западномъ углу съ паденіемъ  $65^\circ$  на NW  $290^\circ$ .
- Домъ № 384. Въ юго-западномъ углу трещины съ паденіемъ  $60^\circ$  на SO  $130^\circ$ ; южная стѣна выгнулась наружу.
- Домъ № 387. Южная стѣна упала на югъ, въ западной—трещины съ паденіемъ  $60^\circ$ — $70^\circ$  на S.
- Домъ № 390. Сѣверная и южная стѣны упали наружу, а западная и восточная—съ трещинами, падающими на SO  $130^\circ$  подъ  $< 60^\circ$ .
- Домъ № 434. Въ восточной стѣнѣ трещины падаютъ на югъ подъ  $< 45^\circ$ .
- Домъ № 433. Южная стѣна упала на югъ, трещины въ восточной и западной стѣнахъ падаютъ на югъ подъ  $< 50^\circ$ — $55^\circ$ .
- Домъ № 432. Сѣверная и южная стѣны разрушены въ углахъ, восточная и западная—совершенно разрушены.
- Домъ № 430. Трещины въ западной и восточной стѣнахъ падаютъ на югъ подъ  $< 45^\circ$ .
- Домъ № 429. Трещины въ западной и восточной стѣнахъ падаютъ на югъ подъ  $< 50^\circ$ .
- Домъ № 426, Коротенко. Въ восточной стѣнѣ трещины падаютъ на югъ подъ  $< 45^\circ$ .
- Домъ № 425. Юго-западная часть разрушена. Въ восточной и западной стѣнахъ трещины съ паденіемъ  $55^\circ$  на NW  $330^\circ$ .
- Домъ № 424, Дымченко. Южная стѣна упала на югъ, въ западной и восточной—трещины падаютъ на S подъ  $< 55^\circ$ .
- Домъ № 423. Трещины въ восточной и западной стѣнахъ падаютъ на югъ подъ  $< 45^\circ$ .
- Домъ № 421. Южная стѣна разрушена, въ восточной и западной — трещины падаютъ на югъ подъ  $< 45^\circ$ .
- Домъ № 420. Южная стѣна разрушена, восточная и западная — частью стоятъ съ трещинами, падающими на югъ подъ  $< 60^\circ$ .
- Домъ № 416, полковника Щербакова. Въ NO углу трещины съ паденіемъ  $55^\circ$  на SW  $210^\circ$ .
- Домъ № 415, Щербакова. Юго-западные и сѣверо-восточные углы наиболѣе разрушены. Въ во-

сточной и западной стѣнахъ двѣ системы трещинъ: ближе къ южной части дома падаютъ на югъ подь  $< 65^\circ$ , а въ сѣверной части—на N подь  $< 45^\circ$ .

Домъ № 411. Въ восточной стѣнѣ двѣ системы трещинъ: въ южной части стѣны падаютъ на S подь  $< 55^\circ$ , въ сѣверной—на N подь  $< 60^\circ$ . У поперечной внутренней стѣны эти трещины, пересѣкаясь, образуютъ крестъ.

Домъ № 408, Бутовича. Южная стѣна наклонилась на югъ. Наибольшее разрушеніе въ юго-западномъ углу. Въ сѣверо-восточномъ углу паденіе трещинъ на NO  $30^\circ$  подь  $< 55^\circ$ , простирается NW  $120^\circ$ . Въ стѣнѣ внутри двора трещины падаютъ на N 50 и на S 65.

Домъ № 407. Южная стѣна выгнулась наружу, въ сѣверо-восточномъ углу трещины съ паденіемъ  $55^\circ$  на NO  $60^\circ$ . Въ юго-восточной части дома трещины падаютъ на NO  $30^\circ$  подь  $< 65^\circ$ .

Домъ № 406. Юго-западный уголъ разрушенъ, южная стѣна у крыльца упала на югъ. Въ восточной стѣнѣ трещины падаютъ на югъ и сѣверъ подь  $< 55^\circ$ ; въ сѣверо-восточномъ углу трещины падаютъ на NO  $60^\circ$  подь  $< 80^\circ$ .

Домъ № 405. Трещины въ восточной и западной стѣнахъ падаютъ на югъ подь  $< 45^\circ$ .

Домъ № 404, Назарова. Южная стѣна выгнулась на югъ; въ сѣверо-восточномъ углу трещины съ паденіемъ  $45^\circ$  на SW  $210^\circ$ .

Домъ № 403. Въ восточной стѣнѣ трещины падаютъ на югъ подь  $< 55^\circ$ ; въ сѣверо-западномъ и юго-западномъ углахъ трещины съ паденіемъ  $80^\circ$  на NW  $310^\circ$ .

Домъ № 401. Южная стѣна наклонилась на югъ, въ восточной — трещины падаютъ на сѣверъ подь  $< 60^\circ$ .

Домъ № 400, Донькова. Въ восточной и западной стѣнахъ двѣ системы трещинъ, падающихъ на S и N подь  $< 45^\circ$ , причѣмъ трещины, падающія на югъ, выражены сильнѣе. Въ юго-западномъ углу, въ печи, есть сдвигъ въ 2" на югъ.

Домъ № 399. Въ юго-западномъ углу дома трещины съ паденіемъ  $55^\circ$  на SW  $210^\circ$ , эти же трещины встрѣчаются и въ столбахъ воротъ.

Домъ № 398. Юго-западный и сѣверо-восточный углы дали трещины до 2" ширины съ паденіемъ  $45^\circ$  на SW  $210^\circ$ .

Домъ № 397. Разрушены юго-западный и сѣверо-восточный углы. Сѣверная стѣна наклонилась наружу. Трещины въ восточной и западной стѣнахъ падаютъ на S подь  $< 45^\circ$ .

Домъ № 396. Наибольшее разрушеніе въ сѣверо-восточномъ углу, трещины въ немъ имѣютъ паденіе  $55^\circ$  на NO  $30^\circ$ .

### Сергіопольская улица (N—S, 22).

Домъ Григорьева. Въ западной стѣнѣ трещины съ паденіемъ  $66^\circ$  на SO  $170^\circ$ .

Домъ Шехмана. Въ стѣнахъ вертикальныя трещины до 7 сант. шириной.

Домъ Гаврина. Южная стѣна вывалилась, въ западной—трещины съ паденіемъ отъ  $45^\circ$ — $80^\circ$  на NW  $350^\circ$ . Ворота наклонились на NW  $350^\circ$ .

Домъ Пономарева. Въ восточной стѣнѣ трещины съ паденіемъ  $60^\circ$  на NW  $350^\circ$  и  $68^\circ$  на SO  $170^\circ$ .

Домъ Григорьева. Сѣверная стѣна нависла на SO  $170^\circ$ , въ южной—трещины съ паденіемъ  $45^\circ$  на NO  $80^\circ$  и  $55^\circ$  на SW  $260^\circ$ .

Домъ Ахметъ-Баева. Западная стѣна вывалилась.

Домъ Кашицина. Южная стѣна частью обвалилась; въ восточной—трещины съ паденіемъ  $55^\circ$  на SO  $170^\circ$ ; въ западной же стѣнѣ—съ паденіемъ  $70^\circ$  на SO  $170^\circ$  и  $50^\circ$  на NW  $350^\circ$ .

Домъ Калачева. Въ южной стѣнѣ трещины съ паденіемъ  $45^{\circ}$ — $65^{\circ}$  на SW  $260^{\circ}$ , а въ западной—съ паденіемъ  $60^{\circ}$ — $70^{\circ}$  на NW  $350^{\circ}$ .

Домъ Зайцева. Сѣверная и южная стѣны совершенно развалились, западная и восточная — съ незначительными трещинами, падающими на SO  $170^{\circ}$  подъ  $< 50^{\circ}$ .

Домъ Колептова. Въ западной стѣнѣ двѣ системы трещинъ: 1) съ паденіемъ  $65^{\circ}$  на SO  $170^{\circ}$ , 2) съ паденіемъ  $70^{\circ}$  на NW  $350^{\circ}$ .

Домъ Балашева. Южная стѣна вывалилась.

#### Лепсинская улица (N—S, 21).

Домъ Розова. Въ южной стѣнѣ трещины съ паденіемъ  $63^{\circ}$  на SO  $170^{\circ}$ .

Татарская мечеть. Западная стѣна вывалилась; юго-западный уголь отошелъ отъ западной стѣны на 1 вершокъ; южная стѣна разрушена сравнительно мало и покрыта незначительными трещи-

Фиг. 7.



нами, имѣющими паденіе отъ  $41^{\circ}$  до  $75^{\circ}$  на NO  $80^{\circ}$ ; въ восточной стѣнѣ трещины съ паденіемъ  $58^{\circ}$  на SO  $170^{\circ}$  и  $48^{\circ}$  на NW  $350^{\circ}$ ; башня, ведущая къ минарету, дала трещины съ простираниемъ SO  $115^{\circ}$  и паденіемъ  $80^{\circ}$  на NO  $25^{\circ}$ ; минареть упалъ на NW  $340^{\circ}$  (фиг. 7 и 8).

#### Казарменная улица (N—S, 20).

Домъ Боярчевой. Стѣны, кромѣ восточной, вывалились наружу.

Два дома Акулькина. Въ одномъ вывалились сѣверная и западная стѣны. Въ другомъ домѣ трещины направлены на SO.

Домъ Мачкова. Сѣверная стѣна въ верхней части сдвинута къ SO  $168^{\circ}$  (плоскость сдвига горизонтальна).

Другой домъ Мачкова, на углу стѣнной площади. Западная и южная стѣны вывалились.



Домъ Колесникова. Трещины къ SO  $168^\circ$  подь угломъ  $45^\circ$ . Часть южной стѣны вывалилась.

Во флигелѣ дома Ванченко. Крупная трещина въ южной стѣнѣ проходитъ и въ фундаментъ, что, вообще, рѣдко наблюдалось; эта трещина падаетъ къ SW  $210^\circ$ ,  $< 68^\circ$ . Въ фундаментѣ трещина почти вертикальна. Въ другихъ соедѣнныхъ домахъ южная части наиболѣе повреждены и нѣкоторыя южныя стѣны вывалились.

Домъ Брусова. Стѣны растрескались взаимно перпендикулярными трещинами при углѣ паденія  $45^\circ$ .

Сырцовую избу Склярова разрушило вертикальными трещинами съ простираниємъ NO  $65^\circ$ .

Трещины дома Склярова расположены синклинально, причеъ ось простирается на NO  $40^\circ$ . SO трещины наклонены къ NW подь угломъ около  $55^\circ$ , а NW къ SO подь угломъ  $40^\circ$ .

По разсказамъ мѣстныхъ жителей, первые толчки, 28 мая, замѣтно направлялись снизу, т.-е. были вертикальны, а затѣмъ приняли направленіе съ SW на NO.

Домъ Буханцева. Въ юго-восточномъ углу, вверху, трещины направлены къ NW подь  $< 15^\circ$ — $20^\circ$ , а внизу—къ SO,  $< 75^\circ$ , т.-е. двойственное расположеніе трещинъ.

Фиг. 8.



Весьма мало пострадалъ низенькій, съ особенно толстыми стѣнами, домъ Бахтіярова, сложенный изъ сырца, тогда какъ двухъэтажный домъ того же владѣльца разрушился совершенно.

Направленіе плоскостей разлома въ домѣ Соколова на NW  $300^\circ$ .

Въ казармахъ саперовъ особенное разрушеніе замѣтно тамъ, гдѣ обожженный кирпичъ замѣненъ сырцомъ; фундаментъ же и нижняя часть зданія казармъ остались цѣлыми. Выше казармъ и губернаторской улицы (SW, S и SO позади) явленія тѣ же, т.-е. наибольшее разрушеніе замѣтно въ верхнихъ частяхъ зданій; многія стѣны S и N вывалились наружу; стѣны же, параллельныя казарменной улицѣ, наиболѣе устояли, а фундаменты сохранились вездѣ и на нихъ уже воздвигаются новые дома. Надо замѣтить, однако, что въ верхнемъ концѣ улицы (S) было болѣе сильное разрушеніе и большое зданіе казачьихъ казармъ, вмѣстѣ со многими домиками бѣдныхъ жителей, представляютъ весьма печальную картину развалинъ. У нѣкоторыхъ изъ этихъ домовъ SW и NO углы вывалились наружу и дома распались вслѣдствіе толчковъ, направлявшихся съ SW. По разсказамъ обывателей, направленіе колебанія здѣсь было съ SW  $210^\circ$ .

### Пишпекская улица (N—S, 19).

Домъ № 691. Южная стѣна разрушилась. Трещины въ восточной и западной стѣнахъ падаютъ на югъ и N подь  $< 55^\circ$ .

Домъ № 692. Въ юго-западномъ и сѣверо-восточномъ углахъ наибольшее разрушеніе; южная стѣна развалилась, трещины въ восточной и западной стѣнахъ падаютъ на S подь  $< 45^\circ$ .

Домъ № 675, Склярова. Наибольшее разрушеніе въ юго-западномъ и сѣверо-восточномъ углахъ; южная стѣна выгнулась на югъ. Трещины въ юго-западномъ и сѣверо-восточномъ углахъ имѣютъ паденіе на SW  $210^\circ$  подь угломъ  $60^\circ$ .

Домъ № 678. Южная стѣна вывалилась.

Домъ № 679. Наибольшее разрушеніе въ юго-западномъ и сѣверо-восточномъ углахъ, гдѣ развиты трещины съ паденіемъ  $50^\circ$  на SW  $210^\circ$ . Южная стѣна нависла.

Покровская церковь разрушена какъ бы отъ вертикальнаго толчка; кирпичъ рассыпался во всѣ стороны (см. выше, фиг. 1).

Домъ № 680. Трещины въ восточной и западной стѣнахъ падаютъ на S и N подь  $< 50^\circ$ .

Домъ № 695. Юго-западная часть разрушена, трещины въ восточной и западной стѣнахъ, какъ и въ предыдущемъ случаѣ, но трещины, падающія на югъ, явственнѣе.

Домъ № 696. Трещины въ восточной и западной стѣнахъ падаютъ на S подь  $< 45^\circ$ .

Домъ № 681. Средняя часть южной стѣны рухнула, трещины въ юго-западномъ углу съ паденіемъ  $55^\circ$  на SW  $210^\circ$ .

Домъ 700. Южная и западная стѣны упали на югъ, крыша съѣхала на SW  $210^\circ$ . Трещины въ сѣверо-восточной части падаютъ на N подь  $< 60^\circ$ , а въ юго-восточномъ углу—на SO  $140^\circ$  съ угломъ  $55^\circ$ .

Домъ № 701. Сѣверная и южная стѣны наклонились наружу; трещины въ восточной и западной стѣнахъ падаютъ на S подь  $< 75^\circ$ .

Домъ № 702. Въ юго-западномъ углу трещины съ паденіемъ  $55^\circ$  на NO  $50^\circ$ .

Домъ № 703. Южная стѣна разрушена, въ сѣверо-восточномъ углу трещины съ паденіемъ  $45^\circ$  на NO  $50^\circ$ , въ сѣверо-западномъ углу трещины падаютъ на NW  $320^\circ$ ,  $< 55^\circ$ .

Домъ № 688. Южная стѣна наклонилась на югъ, а въ восточной и западной—трещины падаютъ на сѣверъ подь  $< 45^\circ$ .

Казарменная кухня. Южная и сѣверная стѣны обвалились наружу, въ восточной и западной—трещины падаютъ на югъ подь  $< 55^\circ$ .

### Узунъ-агачская улица.

Домъ Пантусова. Стѣны вывалились наружу; въ юго-западномъ углу фундамента трещины съ паденіемъ  $55^\circ$  на S.

Домъ № 1253. Во флигелѣ юго-западный уголъ вывалился, въ восточной стѣнѣ—трещины съ паденіемъ  $55^\circ$  на югъ.

Домъ № 1200. Южная и сѣверная стѣны разрушены, въ восточной и западной—трещины съ паденіемъ  $45^\circ$  на S.

Сартовская мечеть (была недостроена). Южная стѣна упала на югъ; въ восточной и западной стѣнахъ фундамента трещины съ паденіемъ  $55^\circ$  на югъ.

Домъ № 1198. Въ юго-западномъ углу трещины, падающія подь угломъ  $75^\circ$ , на югъ. Южная

стѣна наклонилась на юг. Въ западной стѣнѣ двѣ системы трещинъ: въ сѣверо-западномъ углу трещины падаютъ на N подъ  $< 45^\circ$ , а въ верху—на S подъ  $< 45^\circ$ .

Домъ № 1242. Часть южной и сѣверной стѣнъ обрушилась, въ восточной — трещины падаютъ на югъ подъ  $< 45^\circ$ .

Домъ № 1187. Въ западной стѣнѣ трещины съ паденіемъ  $55^\circ$  на югъ.

Домъ № 1185. Южная стѣна отчасти обрушилась и наклонилась на югъ, въ западной—трещины съ паденіемъ  $45^\circ$  на S.

Домъ № 1181. Весь домъ наклонился на SW  $210^\circ$ . Часть южной и сѣверной стѣнъ разрушены, въ западной—вертикальная трещина и двѣ съ паденіемъ  $55^\circ$  на югъ.

Домъ № 1180. Южная и сѣверная стѣны частью разрушились, частью наклонились наружу; въ западной стѣнѣ двѣ системы трещинъ съ паденіемъ  $55^\circ$  на N и S.

Провіантскій магазинъ. Въ южной части восточной стѣны нижнія трещины падаютъ на югъ подъ  $< 45^\circ$ , а верхнія—на сѣверъ подъ  $< 60^\circ$ . Въ сѣверо-восточномъ углу трещины съ паденіемъ  $55^\circ$  и  $70^\circ$  на NO  $40^\circ$ . Южная стѣна обвалилась наружу. Средняя часть сѣверной стѣны обрушилась уже впоследствии, въ 2 ч. ночи 16 іюля.

Фиг. 9.



Сопоставляя всѣ вышеприведенныя наблюденія надъ разрушенными зданіями въ г. Вѣрномъ, мы видимъ (см. выше, фиг. 2), что верхняя, ближайшая къ горамъ или южная часть города пострадала гораздо сильнѣе сѣверной части. Въ первой большинство зданій совершенно разрушилось, такъ что отъ нѣкоторыхъ каменныхъ домовъ остались только деревянныя рамы (фиг. 9); въ другихъ крыша опустилась и прикрыла разрушенныя стѣны (фиг. 10); въ третьихъ крыша только накренилась въ сторону упавшихъ стѣнъ (фиг. 11); четвертые хотя не разрушились, но потерпѣли такія значительныя поврежденія, что сдѣлались негодными для жилья. Между тѣмъ, въ сѣверной части города нѣкоторые даже каменные дома не разрушились, а дали только небольшія тре-

щины, такъ что въ нѣкоторыхъ изъ нихъ, напр., въ домахъ Радченкова и Верещенко, вскорѣ послѣ землетрясенія помѣщались даже торговыя заведенія. Явленіе наибольшаго

Фиг. 10.



разрушенія въ южныхъ концахъ меридіальныхъ улицъ наблюдалось съ большею отчетливостью въ западной части города, нежели въ восточной.

Фиг. 11.



Верхніе этажи зданій вообще пострадали больше нижнихъ и фундаментовъ и въ нѣкоторыхъ мѣстахъ обнаруживаютъ дѣйствіе какъ-бы вертикальнаго толчка или же

во всякомъ случаѣ удара съ большимъ угломъ выхода. Большая часть фундаментовъ, особенно сложенные изъ однороднаго и хорошо сцементированнаго матеріала, сохранились отъ поврежденія, но нѣкоторыя, преимущественно сложенные изъ валуновъ различной величины и слабо или совсѣмъ нецементированные, значительно разрушились и тѣмъ самымъ способствовали разрушенію зданій даже въ сѣверной части города; другіе же претерпѣли небольшіе сдвиги къ югу (точнѣе  $SO 170^{\circ}$ ) подъ угломъ  $5^{\circ}$  до  $12^{\circ}$ .

Что касается стѣнъ, то наибольшее разрушеніе испытали сѣверныя и южныя, тогда какъ восточныя и западныя большею частью только потрескались и только въ юго-западной части города нѣкоторыя развалились. Благодаря правильному расположенію улицъ города по двумъ взаимно перпендикулярнымъ направленіямъ: почти меридіональному и

Фиг. 12.



широтному, различіе въ интенсивности разрушенія на разныхъ сторонахъ однихъ и тѣхъ же зданій проявляется довольно отчетливо. Не говоря уже о томъ, что сѣверныя и южныя значительно болѣе повреждены, многія изъ нихъ совершенно развалились или вывалились наружу; въ нѣкоторыхъ домахъ вывалилась только одна стѣна (чаще сѣверная) (фиг. 12), въ другихъ же обѣ, т.-е. сѣверная и южная, такъ что домъ сдѣлался сквознымъ и крыша его поддерживалась только восточными и западными стѣнами (фиг. 13); то же самое наблюдается по отношенію къ угламъ зданій, обращенныхъ на югъ и сѣверъ или близко къ этимъ направленіямъ.

Эти первоначальные выводы, полученные при наблюденіяхъ разрушительныхъ послѣдствій землетрясенія въ г. Вѣрномъ, т.-е. наибольшее разрушеніе южной части города, равно какъ сѣверныхъ и южныхъ частей отдѣльныхъ зданій, уже сами по себѣ

указывали на то, что сейсмическая волна направлялась съ юга, т.-е. со стороны Запѣйскаго Алатау, что еще болѣе подтверждается изученіемъ расположенія трещинъ. Изъ вышеприведеннаго перечня наблюденій видно, что трещины съ меридіональнымъ или близкимъ къ нему азимутомъ составляютъ преобладающее большинство, около 72% всѣхъ осмотрованныхъ трещинъ, тогда какъ трещины съ противоположнымъ, т.-е. широтнымъ азимутомъ не превышаютъ 28%. Что касается величины угла паденія трещинъ или наклоненія ихъ къ горизонту, то вышеперечисленные факты показываютъ, что уголъ этотъ, хотя варьируетъ въ широкихъ предѣлахъ отъ 30° до 80°, но собственно подавляющее большинство представляютъ углы средней величины—отъ 40° до 60°, которые составляютъ около 85% всѣхъ измѣренныхъ угловъ, а всѣ остальные, вмѣстѣ

Фиг. 13.



взяты—только около 15%. При такой разницѣ въ углахъ паденія трещинъ было важно и интересно прослѣдить направленіе, въ которомъ происходитъ измѣненіе величины угла паденія. Наблюденія показали, что уголъ паденія трещинъ увеличивается, хотя съ нѣкоторыми перерывами, но вполне опредѣленно отъ южной части города къ сѣверной, а именно въ южной части преобладаютъ, кромѣ малыхъ единичныхъ угловъ (отъ 25° до 35°) преимущественно углы отъ 40° до 50°, которые составляютъ почти 41% всего количества; въ сѣверной части, вмѣсто малыхъ угловъ, наблюдались, также единичными, большіе углы (отъ 70° до 80°), но преобладающими въ ней являются углы отъ 50° до 65°, которые составляютъ 55% всѣхъ измѣренныхъ угловъ; границу между

тѣми и другими провести невозможно, такъ какъ она весьма неправильная и мѣстами съ перерывами вслѣдствіе или отсутствія зданій или неравномѣрности удара. Средняя величина угла паденія всѣхъ трещинъ около  $50^\circ$ , но для южной части только  $40^\circ$ .

Если прямыя наблюденія показываютъ, что уголъ паденія трещинъ увеличивается съ юга на сѣверъ, то, слѣдовательно, уголъ выхода подземнаго удара, какъ дополнительный къ наблюдаемому, уменьшается въ томъ же направленіи, а такъ какъ уголъ выхода удара вмѣстѣ съ тѣмъ уменьшается съ удаленіемъ отъ эпицентра землетрясенія, то значить наблюденія надъ измѣненіемъ угла паденія трещинъ вполне опредѣленно указываютъ на нахожденіе эпицентра и центра землетрясенія 28-го мая къ югу отъ г. Вѣрнаго, т.-е. подтверждаютъ вышеприведенное мнѣніе о распространеніи сейсмической волны съ юга отъ Заилійскаго Алатау.

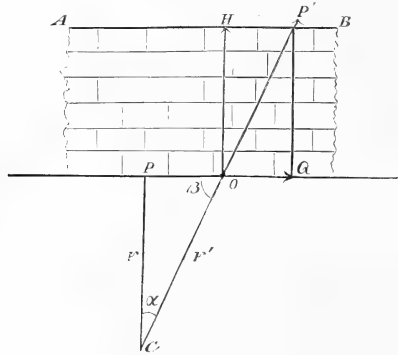
Наконецъ, за то же свидѣлствуютъ сообщенія очевидцевъ, которые приводятъ слѣдующіе факты о послѣдовательности разрушенія: во-первыхъ, южная и юго-западная части города стали раньше разрушаться, нежели сѣверная; население ихъ уже успѣло выбѣжать на улицы, спасаясь отъ обваливавшихся зданій, когда только начался звонъ колоколовъ въ Покровской церкви, которая, послѣ нѣсколькихъ качаній, превратилась въ груду кирпичей (см. выше, фиг. 1). Какъ ни велика была скорость распространенія сейсмической волны (въ меридіальномъ направленіи, какъ выше сказано, около 300 м. въ 1''), тѣмъ не менѣе, всѣ очевидцы единогласно подтверждаютъ тотъ фактъ, что сѣверная часть города разрушалась нѣсколько позже южной, хотя разница во времени ничтожна и, вѣроятно, не превышала нѣсколькихъ секундъ. Во-вторыхъ, въ отдѣльныхъ зданіяхъ разрушеніе начиналось съ южныхъ и юго западныхъ частей и шло нерѣдко діагонально черезъ весь домъ.

Такимъ образомъ, всѣ вышеприведенныя данныя самымъ рѣшительнымъ образомъ свидѣлствуютъ о распространеніи сейсмической волны съ юга и о нахожденіи эпицентра землетрясенія въ Заилійскомъ Алатау, къ югу отъ г. Вѣрнаго. Кромѣ того, площадь наибольшаго разрушенія въ г. Вѣрномъ занимаетъ почти какъ разъ то пространство, гдѣ углы выхода удара варьируютъ отъ  $40^\circ$  до  $50^\circ$  или въ среднемъ  $45^\circ$ . Это явленіе совершенно совпадаетъ съ наблюденіями сейсмологовъ въ другихъ странахъ; такъ, напр., Мильнъ давно уже указалъ, что наибольшее разрушеніе зданій происходитъ при углахъ выхода удара отъ  $45^\circ$  до  $55^\circ$ . Такая связь или зависимость интенсивности разрушенія отъ величины угла выхода удара подтверждается и слѣдующимъ теоретическимъ расчетомъ, сдѣланнымъ по моей просьбѣ Е. С. Федоровымъ. Допустимъ, что на вертикальную стѣнку АВ дѣйствуетъ толчокъ снизу, сила и направленіе котораго выражается  $OP'$  (фиг. 14); разложивъ эту силу на слагающія: вертикальную ОН и горизонтальную ОQ, найдемъ, что только слагающая ОQ будетъ обладать стремленіемъ разрушить стѣну, тогда какъ слагающая ОН стремится лишь приподнять ее; слѣдовательно, за разрушающую силу при землетрясеніяхъ мы можемъ принять только горизонтальную слагающую ОQ.

Величина силы  $OP'$  зависит от расстояния до центра или фокуса землетрясения и притом, чем расстояние больше, тем эта сила меньше.

Если удар исходит из одной точки, то сила  $OP'$  обратно пропорциональна квадрату расстояния от центра землетрясения. Отсюда легко вычислить величину угла, под которым разрушающая сила  $OP'$  дает наибольшую слагающую  $OQ$ . Пусть  $C$  — означает центр землетрясения,  $r$  — расстояние его до эпицентра  $P$  на поверхности земли, а  $r'$  расстояние до

Фиг. 14.



точки  $O$ ; угол  $PCO$  назовем через  $\alpha$ . На основании вышесказанного положения найдем, что силы  $\frac{PC}{OC} = \frac{r'^2}{r^2}$  (1); приняв силу  $PC$  за единицу, получим, что сила  $OC = \frac{r^2}{r'^2} = \cos^2 \alpha$  (2). Горизонтальная слагающая

$$OQ = OP' \sin \alpha, \text{ а потому } OQ = \cos^2 \alpha \sin \alpha \quad (3).$$

Чтобы найти максимальную величину, производную от  $OQ$  приравняем нулю и тогда получим, что  $\cos^3 \alpha - 2 \cos \alpha \sin^2 \alpha = \cos \alpha (\cos^2 \alpha - 2 \sin^2 \alpha) = 0$  (4).

Но так как величина  $\cos \alpha = 0$  не может соответствовать максимальной величине, то остается

$$\cos^2 \alpha = 2 \sin^2 \alpha \text{ или } \operatorname{tg}^2 \alpha = 0,5 \quad (5)$$

$$2 \log \operatorname{tg} \alpha = -1,698970, \text{ т. е. } \log \operatorname{tg} \alpha = -1,849485 = \log \operatorname{tg} 35^1/4^0.$$

Таким образом, это теоретическое рассуждение показывает, что наибольшее разрушение зданий происходит при  $\alpha = 35^1/4^0$  или, все равно, при угле выхода удара  $\beta = 54^3/4^0$ , так как угол  $\beta$  в прямоугольном треугольнике  $OPC$  представляет сь углом  $\alpha$  дополнительный до прямого угла.

Если же удар исходит не из точки, а из некоторой прямой неопределенной длины, что для Вфренского землетрясения гораздо ближе к истине, как увидимъ



ниже, если удар отъ какой нибудь точки этой прямой будетъ распространяться не по всѣмъ направленіямъ, а только въ предѣлахъ одной плоскости; въ этомъ случаѣ сила удара будетъ пропорціональна не квадрату, а только первой степени разстоянія отъ центра удара; поэтому вмѣсто формулы (2) найдемъ, что

$OC = \text{Cos} \alpha$  (2'), а вмѣсто формулы (3) получимъ, что

$OQ = \text{Cos} \alpha \text{ Sin} \alpha = \frac{1}{2} \text{Sin} 2\alpha$  (3'), откуда уголь  $\alpha = 45^\circ$ , а слѣдовательно, уголь выхода  $\beta$ , при которомъ происходитъ наибольшее разрушеніе, тоже равняется  $45^\circ$ .

И такъ, съ одной стороны, теоретическія вычисленія, а съ другой — наблюденія во многихъ сейсмическихъ областяхъ одинаково свидѣтельствуютъ, что углы выхода удара отъ  $45^\circ$  до  $55^\circ$  являются самыми гибельными для цѣлости зданій.

Фиг. 15.



Выше было указано, что въ южной части города Вѣрнаго уголь выхода удара опредѣленъ въ среднемъ около  $45^\circ$ , слѣдовательно, эта часть города находилась при землетрясеніи 28-го мая въ самыхъ невыгодныхъ и опасныхъ условіяхъ, а потому естественно, что она пострадала больше всѣхъ другихъ. Кромѣ того, сильному разрушенію ея способствовало еще то обстоятельство, что она была построена исключительно изъ камня, тогда какъ сѣверная часть и особенно станицы Б. и М. Алматинскія, помимо наиболѣе выгоднаго положенія по отношенію къ углу выхода удара, состояли изъ болѣе устойчивыхъ деревянныхъ построекъ. Въ то время, какъ въ г. Вѣрномъ разрушились почти всѣ каменные зданія (до 1500 домовъ), въ ст. Алматинской попадали только трубы и печи въ деревянныхъ домахъ, которые въ большинствѣ уцѣлѣли отъ разрушенія; даже высокіе деревянные дома съ башнями потерпѣли меньше поврежденій (фиг. 15 и 16) сравнительно не только съ высокими, но даже низкими каменными домами

Прилегающія и даже почти сливающіяся съ г. Вѣрнымъ станицы Большая и Малая Алматинская, построенныя преимущественно изъ дерева, не представили новыхъ, сколько-нибудь интересныхъ данныхъ, полученныхъ уже въ Вѣрномъ, а потому я не

Фиг. 16.



привожу ихъ совсѣмъ и прямо перехожу къ наблюденіямъ въ Вѣрномъ—по всѣмъ тѣмъ направленіямъ, которыя позволяли сдѣлать наблюденія, благодаря существованію хотя бы рѣдкаго населенія.

## ГЛАВА II.

Разрушительныя послѣдствія землетрясенія 28-го мая 1887 г. въ поселеніяхъ Семирѣченской Области, кромѣ г. Вѣрнаго, и характеръ проявленія этого землетрясенія въ нихъ.

### Наблюденія къ сѣверу и востоку отъ Вѣрнаго.

Наблюденія эти частью сдѣланы инженерами Ляминымъ и Штединггомъ, а частью Игнатьевымъ; кромѣ того, сюда вошли нѣкоторыя данныя, собранныя уже вполсѣдствіи, т.-е. послѣ моего отъѣзда, Брусицынымъ, а также нѣкоторыя офиціальныя сообщенія.

Станція Карасуйская, поврежденная еще при Бѣловодскомъ землетрясеніи 22 іюля 1885 года. 28 мая 1887 г. въ 4<sup>1/2</sup> час. утра слышенъ былъ гулъ, затѣмъ, спустя 5—6 мин., слабый толчекъ, за нимъ сильный толчекъ и затѣмъ началось сильное волнообразное движеніе почвы, продолжавшееся минуты три. Ударъ былъ слышенъ съ WSW. Послѣ 28 мая землетрясеніе повторялось каждый день по нѣсколько разъ, но проявлялось въ значительно болѣе слабой степени чѣмъ въ первый день. Станція расшатана; въ западной стѣнѣ оказались трещины съ паденіемъ 62° на SW190° и 86° на N010°; въ южной—паденіе 47° на S0100° и 80° на NW280°. Станція расположена на мощномъ отложеніи лёсса; всѣ постройки изъ плохого сырцоваго кирпича. Домъ Архипова въ южной стѣнѣ даль трещины, падающія на W и O уголь 70°; тоже въ домѣ Кокорина. Въ домѣ Хрѣнникова углы паденія 75° на S.

Станція Кутентайская. 28 мая въ 5 ч. 40 м. утра былъ слышенъ сильный шумъ, похожій на выстрѣлъ и продолжавшійся 5 секундъ; затѣмъ послѣдовало нѣсколько подземныхъ ударовъ. Удары продолжались до слѣдующаго утра, повторяясь каждую минуту, но постепенно ослабѣвая. 29 и 30 землетрясеніе еще продолжалось, постепенно ослабѣвая. Удары повторялись изрѣдка въ іюнѣ и въ іюль.

Станція расположена на такомъ же лёссѣ, какъ и Карасуйская. Станціонный

домъ, построенный изъ елового лѣса, почти никакихъ поврежденій не получилъ, только мѣстами обвалилась штукатурка, хотя во время землетрясенія трещало все зданіе. Другіе же дома, амбары и заборы, сложенные изъ сырца, дали трещины или даже развалились, благодаря вертикальнымъ трещинамъ, отдѣлившимся въ углахъ однѣ стѣны отъ другихъ. Печныя трубы вездѣ падали на западную сторону. Направленіе трещинъ въ домѣ Фомина слѣдующее: въ западной стѣнѣ трещина падаетъ на сѣверъ подѣ  $\angle 50^\circ$ , въ юго-западномъ углу дома на югъ — подѣ  $\angle 55^\circ$ . Въ домѣ Анисѣева южная стѣна отдѣлилась на югъ, сѣверная — на сѣверъ, а западная и восточная отклонились на западъ. Въ домѣ Байзулина трещины падаютъ подѣ  $\angle 70^\circ$  на югъ. Въ другихъ домахъ поврежденія небольшія и такого же характера, какъ въ предъидущихъ.

Илійскій выселокъ на р. Или. Такъ какъ мѣстность эта проектировалась подѣ новый областной городъ Семирѣченской области, то поэтому опишемъ ее подробнѣе. Начальникъ Илійскаго почтово-телеграфнаго отдѣленія, г. Хлѣбниковъ, сообщилъ военному губернатору <sup>1)</sup>, что „землетрясеніе 28 мая 1887 г. проявилось въ Илійскѣ одновременно довольно сильнымъ подземнымъ ударомъ и сотрясеніемъ почвы, въ 4 ч. 40 м. утра; въ это время я находился при аппаратѣ и тотчасъ послѣ удара замѣтилъ, что телеграфъ пересталъ дѣйствовать. Подземный гулъ былъ ясно слышенъ съ SW; затѣмъ, послѣ 4—5 минутъ, началъ ослабѣвать, удаляясь по направленію къ NO. Колебаніе почвы было почти вертикальное, нисколько не измѣняло своего направленія, что было замѣчено и при послѣдующихъ землетрясеніяхъ: утромъ 29 мая въ тѣ же часы и въ полдень, но уже слабыхъ; затѣмъ землетрясенія продолжались ежедневно до 1 іюня, но были настолько слабы, что ощущались только въ ночное время, когда все стихало... 17 іюля въ 10 ч. 30 м. вечера было тоже слабое сотрясеніе.

Всѣ поврежденія въ домахъ обуславливаются тѣмъ, на какомъ грунтѣ земли они расположены; такъ, зданія, подвергшіяся порчѣ, расположены на мягкомъ грунтѣ; зданія же, расположенныя по каменистому берегу рѣки, начиная отъ пикета (почтовая станція) и до моста, остались цѣлыми, въ томъ числѣ и казенные дома, занимаемые ввѣреннымъ мнѣ отдѣленіемъ и чинами онаго, несмотря на слишкомъ тонкія и высокія стѣны изъ сырцового кирпича“. Таково свидѣтельство очевидца, ясно выразившаго связь между характеромъ почвы и интенсивностью разрушенія, что совершенно подтвердилось послѣдующими наблюденіями гг. Игнатѣева и Брусницына; изъ нихъ первый перечисляетъ всѣ замѣченныя имъ поврежденія въ домахъ, а второй — указываетъ подробно на строеніе почвы, какъ въ Илійскѣ, такъ и въ ближайшихъ окрестностяхъ его, а также ниже Илійска, по долинѣ р. Или, что приведемъ тутъ, чтобы уже не возвращаться болѣе къ этому предмету. Г. Игнатѣевъ говоритъ: поселокъ Илійскій расположенъ на лѣвомъ берегу р. Или, у выходовъ скалъ краснаго

<sup>1)</sup> Репортъ отъ 18 іюня 1887 г., за № 342.

порфира, на которомъ расположена сѣверо-восточная часть поселка; южная же часть его и кладбище находятся на толстомъ глинисто-песчаномъ наносѣ и пострадавшіе отъ землетрясенія дома находятся именно въ этой южной части поселка, близъ р. Талгарки.

Домъ Федора Жданова, въ переулкѣ, направляющемся съ О на W имѣетъ небольшія вертикальныя трещины въ углахъ стѣнъ; продольныя стѣны нѣсколько разошлись въ стороны, поэтому доски потолка раздвинулись и дали щели; вообще поврежденія небольшія. Въ восточной стѣнѣ вертикальной трещиной отдѣлилась отъ дома пристройка. Южная стѣна наклонилась на югъ.

Домъ вдовы Овчинниковой. Небольшія вертикальныя трещины внутри и снаружи дома, также надъ дверями,—жить не опасно.

Домъ урядника Никифора Прокудина. Въ поперечной западной стѣнѣ три вертикальныя трещины (одна въ углу) расширены до 2", часть стѣны наклонилась на западъ. Въ сѣверной стѣнѣ узкая вертикальная трещина. Внутри, въ сѣверо-восточномъ углу комнаты, вертикальныя трещины у печи, которая отдѣлилась отъ стѣнъ и покрылась трещинами: съ сѣверной стороны на печи трещина съ сдвигомъ въ 2" на сѣверъ; съ южной стороны печи мелкія трещины. Внутри дома видны также трещины надъ дверями и въ углахъ между поперечными и продольными стѣнами. Въ оконныхъ косякахъ появились небольшія трещины. Домъ Прокудина находится у Талгарскаго моста, противъ училища, и расположенъ продольными стѣнами съ N на S, а поперечными—съ O на W.

Училище обращено длинными стѣнами на W и O, короткими—на N и S. Снаружи видны небольшія вертикальныя трещины въ штукатуркѣ: надъ дверями и, въ особенности, въ оконныхъ косякахъ, которые всѣ разстроились (отошли отъ стѣнъ). Въ южной стѣнѣ, подъ окнами, вертикальныя трещины, а отъ верхнихъ угловъ оконъ идутъ трещины, падающія на O и W, уголъ паденія 75°, внизу у фундамента вертикальная трещина. Въ восточной стѣнѣ вертикальныя трещины надъ дверными сводами, въ сѣверо-восточномъ углу фундамента отвалился уголъ, въ углу трещина, падающая на югъ, уголъ паденія 65°. Въ сѣверной стѣнѣ двѣ небольшія вертикальныя трещины и внизу въ сѣверо-восточномъ углу трещина, отдѣляющая нижнюю часть угла.

Внутри училища, въ южной стѣнѣ, вертикальныя трещины у оконъ и, ближе къ юго-восточному углу, небольшая трещина съ паденіемъ на W, уголъ паденія 80°, во всѣхъ окнахъ вертикальныя трещины въ косякахъ. Постройка сырцовая.

Домъ Мартюхина, на главной улицѣ, обращенъ длинными стѣнами на N и S. Снаружи небольшія вертикальныя трещины въ углахъ.

У казака Мартына Прокудина незначительныя поврежденія отъ землетрясенія, старая изба разрушилась еще до землетрясенія.

Къ деревянному дому казака Василія Жданова есть пристройка изъ сырца, которая отдѣлилась (отошла на востокъ) отъ дома вертикальными трещинами; въ южной стѣнѣ вертикальная трещина надъ окномъ.

Въ поселкѣ Илійскомъ подземный гулъ слышенъ былъ даже еще въ августѣ, какъ и въ Вѣрномъ, но сотрясенія были едва замѣтны.

О геологическомъ строеніи Илійска и ближайшихъ окрестностей, горный инженеръ Брусницынъ сообщаетъ, что тотчасъ у моста черезъ р. Или, по обѣ его стороны и въ обоихъ берегахъ обнажаются массивные красноцвѣтные ортоклазово-кварцевые порфиры, которые, съ удаленіемъ отъ рѣки, прикрываются рыхлыми, новыми песчано-глинистыми наносами. Выходы порфира въ участкѣ, снятомъ на планѣ <sup>1)</sup> въ 1887 г. землемѣромъ Поповымъ, наблюдаются въ слѣдующихъ мѣстахъ: 1) у моста, по обѣ его стороны, весьма узкой полоской, на протяженіи 600 саж. (шириною лишь въ нѣсколько саж.); 2) ниже моста въ 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> вер., въ правомъ же берегѣ—отдѣльными узкими полосами, среди летучаго песка, на протяженіи 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> вер.; 3) въ лѣвомъ берегѣ, при заворотѣ рѣки на NW, ниже устья р. Каскелена почти на 3 версты, замѣчается рядъ обнаженій порфира, который, прерываясь сначала песчано-глинистыми лёссовидными отложениями, нерѣдко горизонтально-слоистыми, переходитъ на сѣверо-западѣ снятаго участка, почти въ сплошное обнаженіе въ обоихъ берегахъ; послѣдніе, начиная съ этого мѣста, далеко внизъ по р. Или, являются скалистыми (урочище Кончасай). Ближе къ урочищу Шуранъ выходы порфира отступаютъ отъ рѣки, въ расширенной долинкѣ которой во многихъ мѣстахъ обнаруживаются слоистыя песчано-глинистыя наносы съ остатками *Helix*, *Limnaeus*, не отличающихся отъ нынѣ живущихъ. Совершенно такой же наносъ развитъ и въ Илійскомъ участкѣ, напр., при устьѣ р. Каскелена, въ долинкѣ ея и р. Талгара, дельта которой образуетъ болотистую низменность, покрытую кустарниками, представляющими пріятный оазисъ среди безжизненной окружающей площади. Кромѣ описанныхъ отложений, въ строеніи Илійскаго участка принимаютъ большое участіе песчано-золотыя образования, покрывающія широкой полосой протягивающейся NO на SW, какъ порфиры, такъ и рѣчные наносы. Пески эти, слагая типичные барханы, легко переносятся даже при незначительномъ вѣтрѣ, а при часто повторяющихся здѣсь буряхъ составляютъ серьезное бѣдствіе для жителей Илійскаго выселка.

Что касается мощности песчано-глинистыхъ наносовъ и летучихъ песковъ, то у выходовъ порфировъ она ничтожна, но по мѣрѣ удаленія отъ нихъ и отъ рѣки, быстро увеличивается, достигая мѣстами нѣсколькихъ сажень (до 5).

Землетрясеніе 28 мая 1887 г. отразилось въ Илійскѣ не только на постройкахъ, какъ выше указано, но даже въ толщахъ песчано-глинистыхъ наносовъ. Г. Брусницынъ указываетъ на два явленія, доказывающія, что сотрясенія почвы здѣсь были не ничтожныя, а именно: по дорогѣ изъ Илійска, по правому берегу р. Талгаръ, въ толщѣ рѣчныхъ наносовъ, слагающихъ береговые обрывы, образовались параллельно очертанію берега трещины; причемъ оторвавшіяся глыбы частью сползли въ рѣку, уничтоживъ

<sup>1)</sup> Планъ этотъ имѣлъ интересъ при обсужденіи вопроса о перенесеніи въ Илійскъ областного города; но для нашей цѣли онъ не настолько цѣненъ, чтобы стоило его прилагать.

мѣстами дороги. По р. Или, верстахъ въ 8—9 ниже моста, близъ такъ-называемаго Остраго Камня, у рыбалки казака Волчина, обвалилось 28 мая, въ моментъ землетрясенія, нѣсколько глыбъ порфира отъ берегового утеса. Другихъ послѣдствій землетрясенія 28 мая въ массѣ порфировъ не наблюдается, хотя нерѣдко вслѣдствіе ясно выраженной столбчатой отдѣльности, устойчивость вертикально-стоящихъ призмъ кажется настолько слабою, что для обвала въ такихъ обнаженіяхъ достаточно было бы незначительнаго колебанія. Ясно, что масса этой породы оставалась въ положеніи относительнаго покоя во время катастрофы 28 мая; наибольшая же разрушительная сила проявилась въ толщахъ песчано-глинистыхъ отложений, особенно близъ береговыхъ обрывовъ. Это положеніе г. Брусницына находить себѣ полное подтвержденіе въ данныхъ гг. Игнатѣва и Хлѣбникова объ интенсивности разрушенія зданій въ Илійскомъ выселкѣ.

Низовье р. Или. Ниже, по р. Или, за отсутствіемъ населенія и видимыхъ слѣдовъ разрушенія, трудно было собрать какія нибудь свѣдѣнія о землетрясеніи 28 мая, но вѣроятно оно было неразрушительно, такъ какъ въ мѣстности Тамгатась, на скалахъ порфира, г. Брусницынъ наблюдалъ вполне сохранившіяся древнія письмена.

Только уже ниже р. Курту, въ киргизскихъ аулахъ, по бѣдности не кочующихъ въ горы, получились показанія о землетрясеніи 28 мая, которое проявилось тамъ слабыми толчками съ предшествовавшимъ имъ подземнымъ гуломъ со стороны Алматы (т. е. Вѣрнаго). Незначительныя колебанія земли продолжались недѣли двѣ послѣ 28 мая. Судя по разговорамъ этихъ киргизъ, замѣтное колебаніе почвы 28 мая распространялось до оз. Балхаша и даже далѣе, но оно нисколько не причинило вреда кочевникамъ и не оставило никакихъ слѣдовъ въ рыхлыхъ берегахъ или въ киргизскихъ могильныхъ памятникахъ (мулушкахъ).

Проѣхавъ въ лодкѣ версты 150 ниже впаденія р. Курту въ Или, г. Брусницынъ получилъ еще извѣстіе о землетрясеніи 28 мая въ аулѣ Итигитовъ, гдѣ было только слабое дрожаніе почвы, но безъ подземнаго гула; послѣ 28 мая слабые толчки продолжались еще дня три и затѣмъ прекратились. Вслѣдствіи я получилъ извѣстіе отъ киргизъ, что гулъ и сотрясеніе чувствовались около оз. Балхашъ и даже съверше его, гдѣ скотъ отъ испуга разбѣжался. То же подтверждаетъ г. Андреевскій (записка, представленная въ Геогр. Общ.).

Послѣ этого отегушенія по Или, будемъ продолжать изложеніе наблюденій къ X-у по сибирскому тракту.

Ст. Чингильдинская. Станція расположена на песчано-глинистыхъ наносахъ р. Чингильды, обильныхъ источниками. 28 мая въ 5 ч. утра былъ слышенъ шумъ „какъ бы отъ нѣсколькихъ экипажей, ѣхавшихъ по мосту“. Шумъ продолжался одну минуту, раздавался съ юга отъ г. Вѣрнаго, и затѣмъ началось волнообразное движеніе почвы, не прекращавшееся въ теченіи 5 минутъ. Стѣны домовъ дали трещины, съ крышъ свалились трубы, большую часть къ NO55°. Ветхая станціонная конюшня

сильно повреждена; въ NW-ой стѣнѣ ея трещины падаютъ SW 230°, уголъ паденія 50°, также на NO 50°, у. 46°—63°. Затѣмъ землетрясеніе повторилось 29 мая въ 5 ч. утра, 30 мая въ 3 ч. у., слегка чувствовалось въ іюнѣ и, наконецъ, 11 іюля въ 3 ч. 20 м. утра.

Ст. Карачекинская расположена въ долинѣ размыва съ крутыми порфировыми склонами. Землетрясеніе 28 мая отозвалось весьма слабо; около 4<sup>1</sup>/<sub>2</sub> ч. утра былъ слышенъ сильный шумъ, шедшій какъ бы отъ Вѣрнаго къ г. Копалу; затѣмъ началось волнообразное движеніе почвы, продолжавшееся минуты 4, отчего съ крыши станціоннаго дома свалилась труба, упавшая по направленію NW 320°, да мѣстами осыпалась штукатурка со стѣнъ и съ потолка; въ тотъ же день землетрясеніе повторилось въ 11 ч. и въ 2 ч. пополудни.

Станція Куянь-Кузская расположена въ глубокой долинѣ размыва предгорій Алтынъ-Имельскихъ и Куянь-Кузскихъ, покрытой отложениями лёсса. Землетрясеніе 28 мая началось „на восходѣ солнца гуломъ, похожимъ на гулъ сильной бури“. Затѣмъ началось сотрясеніе почвы, продолжавшееся 15 минутъ. Съ крышъ свалились трубы, стѣны дали трещины. Въ юго-западной стѣнѣ станціоннаго дома трещины съ паденіемъ 53—57° на SO140° и 72° на NW320°; подобныя же поврежденія получили ямщицкая и казармы для проходящихъ войскъ; въ ямщицкой, въ длинной стѣнѣ дома, съ направл. SW230, имѣется трещина, падающая на востокъ подъ  $\angle$  75—80°, въ казармахъ продольныя стѣны (направл. SW 230°) нѣсколько отклонились наружу, отдѣлившись отъ другихъ стѣнъ трещинами.

Станція Алтынъ-Имельская расположена на рыхлой дресвѣ, близъ отроговъ Алтынъ-Имельскихъ горъ; вблизи станціи есть выходы кристаллическихъ породъ (порфиры). 28 мая въ 5 час. 5 м. утра слышенъ былъ сильный шумъ, продолжавшійся минуты три; нѣсколько минутъ позднѣе „начались частыя толчки, напоминавшіе барабанную дробь“, что продолжалось минуты 3—4. На станціи свалились двѣ трубы по направленію къ NW315°, а въ стѣнахъ образовались трещины, — въ юго-западной стѣнѣ съ паденіемъ 60° на NO135°. Подобныя же поврежденія получили и дома поселка.

Станція Кугалинская стоитъ на мощномъ отложеніи лёсса въ лодинѣ близъ Кугалинскихъ горъ. 28 мая „въ 5 часовъ утра послышался шумъ, похожій на выстрѣлъ“, затѣмъ начались частыя колебанія почвы, которыя, постепенно ослабѣвая, черезъ сутки совсѣмъ прекратились.

Въ іюнѣ и іюлѣ землетрясенія повторялись нѣсколько разъ, но въ значительно болѣе слабой степени, чѣмъ 28 мая. Во время землетрясенія былъ слышенъ сильный гулъ, шедшій какъ бы отъ горъ съ SO. Въ станціонномъ домѣ свалилась труба по направленію NW285° и изъ-подъ навѣса „выкатились повозки“. Въ поселкѣ, расположенномъ по другую сторону рѣки Кугалинки, многіе дома получили трещины и во



многих попадали трубы. Въ глиняной избушкѣ урядника Тютявина образовалась въ сѣверо-восточномъ углу дома трещина съ паденіемъ  $70^\circ$  на SW225°.

Станція Царицынская расположена въ долинѣ рѣки Кокъ-су, текущей съ W на O. Съ N и S станціи возвышаются Царицынскія горы; сѣверныя предгорія покрыты пашнями, расположившимися на очень незначительномъ слоѣ наноса.

Землетрясеніе вообще ощущалось довольно слабо, трубы всѣ остались цѣлы; началось оно 28 мая въ 5 часовъ утра сильнымъ шумомъ, вслѣдъ за которымъ послѣдовали подземные толчки, такъ что подсакивали стулья и часы на стѣнѣ качались, продолжавшіеся 5 минутъ, по направленію съ SW, къ NO-y. Въ ветхой конюшнѣ, сложенной изъ плохого сырцоваго кирпича образовались трещины въ углахъ; впрочемъ, кромѣ этихъ трещинъ въ стѣнахъ имѣется и много другихъ, происшедшихъ не отъ землетрясенія.

Въ 5 верстахъ отъ станціи, на мѣстѣ добычи подземными работами точильнаго камня, обвалились отъ сотрясенія галлерей. Послѣ 28 мая шумъ и удары, происшедшіе обыкновенно по утрамъ, продолжались еще дней пять.

Станція Джангызъ-Агачъ съ селеніемъ расположена въ долинѣ р. Джангызъ-Агачъ на отложенияхъ лёсса. Съ запада и востока долину окружаютъ горы, сложенные изъ кристаллическихъ породъ. Землетрясеніе 28 мая проявилось сильнымъ, но безъ толчковъ, волнообразнымъ колебаніемъ почвы, такъ что „экипажи двигались по двору взадъ и впередъ“; оно продолжалось 15 мин. Шумъ, предшествовавшій землетрясенію, шелъ какъ бы съ запада на востокъ. Разрушеній не было, трубы всѣ остались цѣлы. Послѣ 28 мая землетрясеніе повторялось раза 4, но проявлялось значительно слабѣе, чѣмъ въ первый разъ.

Станція Кара-Булакъ расположена въ широкой долинѣ рѣки Кара-Булакъ, окруженной съ юга и сѣверо-востока горами. Почву долины составляетъ мощный рѣчной песчано-глинистый наносъ, въ которомъ находятся гальки и валуны окрестныхъ кристаллическихъ породъ. Землетрясеніе 28 мая началось въ 5 часовъ шумомъ, вслѣдъ за которымъ началось волнообразное движеніе почвы. Отъ сотрясеній образовались трещины въ домахъ и церкви. Въ юго-восточномъ углу станціоннаго дома образовалась трещина съ простираніемъ SO130°, съ паденіемъ  $60^\circ$  на SW220°, причѣмъ нижняя часть угла выступила наружу.

Въ колокольнѣ, пристроенной къ церкви, также образовались трещины, какъ въ сѣверной, такъ и въ южной стѣнахъ; въ верхней части колокольня отдѣлилась отъ церкви широкой  $1\frac{1}{2}$  дюймовой щелью. Трещины въ стѣнахъ имѣютъ паденіе  $67\frac{1}{2}$  на NO80° и  $82^\circ$  на SO95°. Подобнаго же рода трещины, но только надъ косяками, наблюдаются и въ училищномъ зданіи, построенномъ изъ сырца.

Въ поселкѣ, состоящемъ изъ 3 параллельныхъ улицъ, направляющихся съ W на O, во многихъ домахъ попадали трубы на югъ и юго-западъ. Направленіе волнообразнаго движенія было съ SW къ NO-y. Въ Гавриловкѣ, отстоящей въ 15 верстахъ ниже

Кара-Булака по долинь Каратала, по сообщениям военного губернатора, разрушило два дома, которые, по осмотру Лямина и Штедингга, представляли очень ветхія зачуги.

Станція Сары-Булакъ расположена на лёссовидной глинь въ долинь рѣкъ: Сары-Булакъ и Караталь. Землетрясеніе 28 мая, по рассказамъ мѣстныхъ жителей, началось въ 4 ч. 50 м. утра такимъ шумомъ, какъ будто „ѣхало по дорогѣ 500 экипажей“. Затѣмъ послѣдовалъ подземный ударъ, отъ котораго „захлопали створки воротъ и зашевелился тебъ на крышѣ“. Землетрясеніе продолжалось минутъ 5-ть. Поврежденій почти не было; печка въ станціонномъ домѣ дала трещины съ паденіемъ  $86^{\circ}$  на NW320°.

Станція Акъ-Ичке расположена на твердыхъ сланцахъ у подножія скалы изъ твердаго глинисто-слюдянаго сланца; пласты стоятъ почти вертикально. На югъ отъ станціи выступаютъ скалы твердаго порфира. Въ окрестныхъ горахъ Акъ-Ичке были слышны 28 мая въ 5 ч. утра шумъ, послѣ котораго чувствовалось незначительное и непродолжительное колебаніе почвы, не причинившее никакихъ видимыхъ поврежденій.

Станція и городъ Копаль. Городъ Копаль расположенъ на отложенияхъ лёсса у подножія гранитныхъ Копальскихъ горъ. 28 мая въ 4 ч. 55 м. утра было замѣчено весьма плавное волнообразное движеніе почвы, съ SW на NO, продолжавшееся минутъ пять, которое завершилось подземнымъ гуломъ; спустя нѣсколько минутъ послѣдовалъ одинъ сильный толчекъ кверху. Все землетрясеніе продолжалось минутъ 10. Изъ поврежденныхъ, произведенныхъ землетрясеніемъ, болѣе замѣчательны слѣдующія: въ домѣ, занимаемомъ начальникомъ уѣзда, новая пристройка къ стѣнѣ, имѣющей простирание SO160°, отошла отъ послѣдней на  $1\frac{1}{2}$  вершка.

Въ одной изъ комнатъ канцеляріи осыпалась штукатурка; во флигелѣ, гдѣ помѣщается архивъ, появились трещины, всѣ почти вертикальныя; въ юго-западномъ углу печи трещина имѣетъ паденіе  $80^{\circ}$ , простирание SW 215°. Зданіе построено изъ плохого сырцоваго кирпича. Въ домѣ городничаго образовались трещины въ потолкѣ съ простираниемъ SW190°, а противъ окна образовалась яма, глубиною  $\frac{1}{2}$  арш. и діаметромъ  $2\frac{1}{2}$  арш.

Въ кухнѣ пансіона для киргизскихъ мальчиковъ потолочная балка, имѣющая направление SO170°, дала поперечную трещину, съ простираниемъ NO80°. Трещины въ потолкѣ зданія уѣзднаго казначейства имѣютъ направленіе NW345°, NO68°. Колебанія земли по іюнь мѣсяцъ были почти ежедневно, но слабыя, замѣчавшіяся только ночью.

Станція Арасанская расположена на рѣчныхъ наносахъ вблизи р. Биень у гранитныхъ горъ Арасанскихъ. Землетрясеніе проявилось въ сильномъ колебаніи почвы, продолжавшемся, 28 мая въ 5 час. утра, нѣсколько минутъ.

Колебанія были такого рода, что станціонный амбаръ шатался по направленію поперекъ долины, т.-е. въ общемъ съ S на N. Въ одномъ домѣ поселка разрушило

печь. 29 и 30 мая также замѣтны были колебанія почвы, но значительно болѣе слабы чѣмъ въ 1-й разъ.

Станція Абакумовская находится у горъ того же имени (переваль Гасфорта), сложенныхъ изъ глинистыхъ и слюдяныхъ сланцевъ. Слой наносовъ, покрывающихъ сланцы, незначителенъ по мощности подъ станціей и у горъ, но сильно утолщается далѣе къ сѣверу и сѣверо-востоку.

На Гасфортскомъ перевалѣ 28 мая въ 5 час. утра былъ слышенъ сильный шумъ, а на станціи наблюдали покачиванія лампы и висячей лампы; этимъ и ограничилось проявленіе землетрясенія.

Станція Сарканская находится въ 33-хъ верстахъ отъ Абакумовской, по дорогѣ въ городъ Лепсинскъ. Дорога пролегаетъ вдоль предгорій по песчано-глинистому наносамъ и лёсу. Въ верстахъ 5 отъ Сарканской станціи лёсъ, прорѣзанный въ нѣсколькихъ мѣстахъ ручьями, достигаетъ 30 сажень мощности, обваливаясь весьма характерно вертикальными стѣнами. У самой станціи, вдоль по рѣкѣ Саргану, находятся скопленія громадныхъ валуновъ сфеноваго и другихъ гранитовъ и хлоритоваго сланца, попадающагося между валунами гранита. Это остатки размытой рѣкой Сарганомъ древней морены, образованной ледникомъ, спускавшимся прежде изъ центра горнаго массива въ долину.

Сама станція Сарканская расположена на лёсѣ у берега рѣки. Землетрясеніе въ ней было замѣтно только для лицъ, находившихся въ зданіяхъ, гдѣ тряслась посуда въ шкафахъ, качались гири у часовъ и т. п.; продолжалось оно минуты 3—4. Для находившихся въ это время на улицѣ сотрясеніе было незамѣтно.

Станція Теректинская расположена на довольно мощномъ отложеніи лёсса, близъ отроговъ горъ Алмалы и Чатырбай. Здѣсь землетрясеніе 28 мая чувствовалось всѣми жителями и продолжалось минуты 4—5. Въ станціонномъ домѣ никакихъ поврежденій не произошло. Въ поселкѣ нѣсколько пострадали три ветхихъ дома, построенныхъ изъ плохого сырца. Пострадавшіе дома лежатъ въ юго-восточной и сѣверо-западной, болѣе низкихъ частяхъ поселка, на его окраинахъ; въ домахъ же средней, болѣе возвышенной части поселка, никакихъ поврежденій нѣтъ. Въ одномъ изъ пострадавшихъ домовъ (въ юго-восточной части поселка) образовалась вверху юго-восточнаго угла дома трещина, съ простираниемъ NW 290° и паденіемъ въ 80° на NO20°; благодаря этой трещинѣ, уголь дома почти совсѣмъ отвалился.

Крыльцо пристройки отдѣлилось трещинами, также появились трещины и надъ окнами и дверями.

По словамъ жителей, волны сейсмическаго движенія шли съ SO.

Въ другомъ домѣ Негисова (NW части поселка), въ западной короткой стѣнѣ, съ простираниемъ SO140°, образовалась трещина съ паденіемъ 75° на N, въ верхней части трещина эта протягивается горизонтально до южной стѣны, которая нѣ-

сколько отклонилась къ югу. Трубы упали къ NW; землетрясеніе и гулъ шли какъ бы съ SO.

Станція Аксуйская. 28 мая въ началѣ 5 часа утра было сильное колебаніе почвы, продолжавшееся  $\frac{3}{4}$  часа, шума слышно не было.

Станція Басканская. 28 мая въ 5 час. утра староста, лежа въ юртѣ, замѣтилъ что она шевелится; загѣмъ загремѣла посуда въ шкафу, и кровать, стоявшая по направленію SW 255°, стала покачиваться съ боку на бокъ, что продолжалось минутъ 6—7. Очевидно, что направленіе движенія волны было поперекъ кровати. 7 іюня въ 9 час. вечера было замѣтно легкое колебаніе: ямщику, сидѣвшему на землѣ, казалось, что кто-то его точно сдвигаетъ съ мѣста. 29 іюня въ 11 час. 55 мин. ночи староста замѣтилъ, что въ продолженіи 10—12 минутъ „подъ землей точно кто-то топоромъ рубилъ“. 13 іюля въ 12 часовъ дня былъ слышенъ сильный подземный гулъ, въ родѣ грома, продолжавшійся 5—6 минутъ, хотя небо было совершенно ясно.

Городъ Лепсинскъ лежитъ на лёссѣ и окруженъ горами. Землетрясеніе 28 мая ощущалось въ городѣ очень слабо, такъ что даже не всѣми лицами было замѣчено. Явленіе продолжалось минуты 4 и никакихъ видимыхъ поврежденій не причинило.

На станціи Капчи-Булакъ, 28 мая въ 5 час. утра послышался шумъ, послѣ котораго послѣдовалъ толчекъ и волнообразное сотрясеніе, продолжавшееся 5 минутъ.

На полустанціи Уфуныпъ-Качскій 28 мая утромъ затрещалъ пикетъ, такъ что староста и ямщики выскочили изъ зданія.

Въ Средне-Аягузской станціи 28 мая было самое легкое сотрясеніе.

У селеній: Осиновскаго, Герасимовскаго и Колпаковскаго выступаютъ толщи третичныхъ красныхъ глинъ съ гипсомъ. Самыя селенія расположены на холмистыхъ предгоріяхъ, состоящихъ изъ красныхъ глинъ, прикрытыхъ черноземомъ. Землетрясеніе въ этихъ селеніяхъ было едва замѣтно и даже ускользнуло отъ вниманія многихъ. По берегамъ озера Ала-Куль, лежащаго къ востоку отъ селенія Колпаковскаго, за рѣкой Джамантай, было ощущаемо, по словамъ киргизъ, 28 мая землетрясеніе, которое однако въ берегахъ озера, состоящихъ изъ мощнаго лёсса, никакихъ измѣненій не произвело. Озеро Ала-Куль отдѣляется отъ озера Кичи-Куль узкой полосой суши — Наринской стрѣлкой. Стрѣлка эта въ узкомъ мѣстѣ, по срединѣ, имѣетъ ширину не болѣе 80-ти сажень; она состоитъ изъ нанесенныхъ обоими озерами обломковъ и галекъ горныхъ породъ, преимущественно сланцеватыхъ: глинисто-сланяного и афанитоваго сланцевъ; попадаются также гальки порфира и куски каменнаго угля, выбираемые на стрѣлку изъ озера Ала-Куль.

Къ сѣверу отъ озера мѣстность представляетъ ровную степь съ солончаками и мѣстами съ песками; отъ рѣки Эмиль до Бахтинскаго укрѣпленія (или селенія Захарьевскаго) мѣстность представляетъ также песчано-солонцеватую степь, поросшую рѣдкимъ камышомъ и чіями.

Въ селеніи Захарьевскомъ 28 мая было очень слабое землетрясеніе, не при-

чинившее никакого вреда весьма ветхимъ постройкамъ поселка. Насколько непрочны стѣны этихъ построекъ, сложенные изъ сырца, видно изъ того, что слегка размытыя дождевой водой, онѣ иногда падаютъ при учебной стрѣльбѣ артиллеріи.

Въ Барлыкскихъ горахъ землетрясеніе ощущалось сильнѣе: его чувствовали тамъ лица, находившіяся на теплыхъ минеральныхъ водахъ. Тамъ же оно было замѣчено и 10 іюня.

Въ Чугучакѣ землетрясенія не было; по крайней мѣрѣ консулъ его не замѣтилъ и никто о землетрясеніи ему не заявлялъ.

Въ селеніяхъ Хатынь-су и Урджарскомъ землетрясеніе 28 мая замѣтили многіе жители: въ шкапахъ звенѣла посуда, спящихъ слегка покачивало въ кровати какъ въ лодкѣ; подземнымъ шумомъ, гуломъ и вообще звуками оно не сопровождалось; поврежденій въ домахъ также не произошло.

Отъ станицы Урджайской по направленію къ Сергіополю ни на одной станціи землетрясенія не замѣтили. Въ самомъ Сергіополѣ кузнецъ Дюсекай Паткулиновъ рассказывалъ, что у него въ домѣ 28 мая звенѣла посуда; другіе же ничего не замѣтили.

Наконецъ, по слухамъ, землетрясеніе было замѣчено и въ Семипалатинскѣ и даже въ поселкѣ Ямышевскомъ, лежащемъ между Семипалатинскомъ и Павлодаромъ. Въ Ямышевскомъ поселкѣ землетрясеніе было замѣчено священникомъ, который и сообщилъ объ этомъ степному генераль-губернатору, а позднѣе, именно 13 іюня, въ поселкѣ Феклистовскомъ и 15-го въ поселкѣ Сѣверномъ Усть-Каменногорскаго уѣзда слышенъ былъ подземный гулъ, но колебаній не ощущалось<sup>1)</sup>.

Кромѣ того, по рассказамъ киргизъ, явственное подземное колебаніе почвы чувствовалось въ нѣкоторыхъ мѣстахъ горъ Чингизъ-тау, западнѣе Сергіополя южнѣе горы Темерчи, а также въ горахъ Акъ-тау, верстахъ въ сорока южнѣе укрѣпленія Акъ-тау и въ нѣкоторыхъ мѣстахъ по сѣверному берегу Балхаша, что подтверждаютъ свѣдѣнія, собранныя Брусницынымъ въ низовьяхъ р. Или.

Дополненіемъ ко всѣмъ этимъ даннымъ служатъ наблюденія Брусницына по направленію отъ низовьевъ Или черезъ Алтынъ-Эмель къ Кульджѣ, т.-е. съ W на O.

Покончивъ съ долиною Или верстахъ въ 150 ниже Курту, г. Брусницынъ бросилъ лодку и направился верхомъ по совершенно пустынной странѣ, къ NO отъ Или, между горами Юль-Адырь и Малай-Сары къ Акъ-тюбе-Чуруку.

До Тасъ-Кудука тянется гладкая песчано-глинистая равнина съ жалкою растительностью. Въ оврагѣ Тасъ-Булакъ выступаютъ порфиры, встрѣчавшіеся еще и раньше въ возвышенности Кулакъ-басы. Мѣстные киргизы сообщили, что 28 мая, будучи на Сата-лы, они чувствовали слабые подземные удары, сопровождавшіеся гуломъ, передъ восходомъ солнца. Но очевидно сотрясенія были весьма слабы, потому что находив-

<sup>1)</sup> Рапортъ Усть-Каменногорскаго Уѣзднаго Начальника, отъ 6 іюня за № 4450.

пиеса на пути киргизские могильные памятники и ограды ихъ, сложенные изъ сырца, нисколько не пострадали.

Подвигаясь далѣе къ О и NO среди песковъ встрѣчаются нерѣдко выходы порфировъ, но ближе къ Акъ-тюбе-Чурукъ они совершенно скрываются и поверхность занята большими барханами съ крутымъ SW склономъ. Киргизы Байгалы-Койтилинской волости, кочевавшіе въ горахъ Култанъ, замѣтили явственное сотрясеніе почвы утромъ 28 мая съ подземнымъ слабымъ гуломъ, предшествовавшимъ колебанію. Послѣ 28 мая сотрясенія не замѣчались. Въ 15 верстахъ отъ послѣдняго привала находится ключъ Сары-Булакъ, водою котораго, собираемую въ небольшой прудъ, орашаютъ пашни, расположенныя на глинисто-песчаной почвѣ. Среди глинистыхъ песковъ мѣстами замѣтны очень плохія обнаженія порфирита. Живущіе у пашень киргизы замѣтили 28 мая дрожаніе почвы, но безъ всякаго подземнаго гула. Слѣдующіе слѣды землетрясенія 28 мая по этому пути встрѣчены были на ст. Алтынъ-Эмельской, что уже описано выше.

Въ Алтынъ-Эмельскихъ горахъ, сложенныхъ изъ массивныхъ породъ, кристаллическихъ сланцевъ и мрамора, по рассказамъ киргизъ было ощущаемо 28 мая слабое дрожаніе почвы одновременно съ шумомъ, какъ-бы отъ вѣтра; послѣ же 28 мая сотрясеній не замѣчали.

Къ востоку, на рыхлыхъ наносахъ широкой долины, между Алтынъ-Эмельскими и Кой-бынскими горами, а также въ долинѣ р. Или, противъ горъ Калканъ, землетрясеніе 28 мая чувствовалось гораздо сильнѣе.

Киргизы, кочевавшіе на р. Кюю-Терекъ, рассказывали Брусницыну, что 28 мая ими ощущалось сильное землетрясеніе, сопровождавшееся гуломъ, похожимъ на топотъ „большого табуна лошадей“; 29 мая въ полночь также было замѣтно колебаніе земли, которое затѣмъ прекратилось совершенно.

Въ Калканскомъ урочищѣ горный инженеръ Брусницынъ нѣсколько мѣсяцевъ производилъ развѣдки на каменный уголь и имѣлъ случай много разъ наблюдать землетрясенія послѣ 28 мая. Онъ сообщаетъ, что на Калканѣ вообще слабыя сотрясенія происходили въ тѣ дни, когда въ Вѣрномъ, Талгарѣ, Иссыкѣ и Маловодномъ чувствовались болѣе сильные удары, за исключеніемъ только 8 февраля, когда дрожаніе близъ развѣдочныхъ работъ въ 9 ч. утра не ощущалось ни въ одномъ изъ названныхъ мѣстъ. Сотрясенія на Калканѣ хотя всегда были слабыя, но болѣе продолжительны, чѣмъ въ г. Вѣрномъ; они однако никогда не ощущались въ развѣдочныхъ шурфахъ и штольяхъ.

О землетрясеніи 28 мая въ г. Джаркентѣ, начальникъ участка сообщаетъ: „Первое землетрясеніе было въ ночь на 28 мая и началось около 5 часовъ утра легкими колебаніями съ юга на сѣверъ; среди нихъ было три сильныхъ удара, движеніе которыхъ, по увѣренію большинства, было горизонтальное. Продолжалось это 5 минутъ; они произвели только легкія поврежденія: упали или отошли отъ стѣнъ печи, рушились на крышахъ трубы и развалилась старая заброшенная саяля. Послѣ этого сла-

быя колебанія продолжались съ промежутками около полчаса. Колебанія возобновились 29 мая около 9 час. вечера. Кромѣ того, замѣчено было сотрясеніе въ ночь на 5 іюня; около 1 ч. пополудни поднялась сильная буря съ дождемъ и сѣвернымъ вѣтромъ; черезъ полчаса послѣ бури послышался глухой шумъ и ударъ въ 1 ч. 15 м. Послѣ этого въ теченіи почти 5 дней шли сильные дожди, разразившіеся наводненіемъ въ ночь съ 12 на 13 іюня. Въ 10 ч. 35 м. вечера 17 іюня слышенъ былъ подземный гулъ, продолжавшійся около полминуты, а затѣмъ поднялся страшный сѣверный вѣтеръ, который продолжался около часу, но безъ дождя“.

Къ этому г. Брусницянъ добавляетъ, что продолжительность перваго удара была около 30 с. Замѣтное землетрясеніе было еще 19 и 23 августа. Къ сѣверу отъ Джаркента, въ горахъ, именно въ Тышкентскомъ ущельи, 28 мая съ крутыхъ утесовъ падали крупные камни съ грохотомъ, который вмѣстѣ съ отдаленнымъ гуломъ наводилъ ужасъ на кочевавшихъ тамъ киргизъ.

Въ Борохудирѣ, расположенномъ какъ и Джаркентъ на лёссовидной слоистой глинѣ, 28 мая утромъ („когда доять коровъ“) послышался съ SW гулъ, какъ бы „отъ топота большого табуна лошадей по твердому грунту“ и затѣмъ тотчасъ же стѣны зданій закачались; двери стали хлопать, съ образовъ во многихъ домахъ попадали свѣчи, картины на стѣнахъ раскачивались какъ маятники, вода изъ арыковъ расплескивалась съ силою по сторонамъ, деревья качались. Гулъ, начавшійся раньше, сопутствовалъ все время колебанію почвы, которое, по разпросамъ г. Брусницяна, продолжалось около 4 минутъ. Особыхъ поврежденій въ зданіяхъ не произошло, только въ углахъ домовъ изъ сырцоваго кирпича образовались трещины по всевозможнымъ направленіямъ. Поврежденіе, преимущественно угловъ, по справедливому замѣчанію Брусницяна, объясняется тѣмъ, что улицы Борохудира расположены по двумъ взаимно перпендикулярнымъ направленіямъ: на NW и SW, а направленіе удара было почти меридіальное.

На Кой-бынѣ землетрясеніе 28 мая проявилось довольно сильно; стѣны станціоннаго зданія, особенно сѣверо-западная стѣна, растрескалась. По рассказамъ, сотрясеніе предшествовалъ подземный гулъ, направленіе котораго казалось съ NW, т.е. со стороны Койнурскихъ горъ. Сотрясеніе, начавшееся около 5 ч. утра, продолжалось около 5 минутъ, но затѣмъ повторялось еще въ теченіе двухъ недѣль. Станція построена на песчано-глинистомъ наносѣ съ прослойками песка и галечника.

На ст. Конуръ-улень, расположенной на твердыхъ массивныхъ породахъ, землетрясеніе проявилось весьма слабо, тогда какъ въ Айна-Булакѣ потрескалась сѣверная стѣна станціоннаго дома, а на ст. Бащи отклонилась восточная и западная.

На Хоргосѣ землетрясеніе 28 мая проявилось весьма слабо, но въ Акъ-кентѣ довольно сильно, повредивъ углы зданій и образовавъ трещины въ стѣнахъ.

Въ г. Суйдунѣ хотя сотрясеніе было сильное, но гула не было слышно; направленіе толчковъ было SW; у часоваго мастера на всѣхъ часахъ, повѣшанныхъ на О-й

и W-й стѣнахъ, гири сильно раскачивались и многіе часы остановились; на стѣнахъ же, имѣвшихъ другое направленіе, такого явленія не было.

Въ г. Кульдѣ землетрясеніе отразилось спокойными волнами и никакихъ разрушеній не произвело, а въ близлежащихъ каменноугольныхъ копяхъ Гангуля, Пиличи и пр. его даже не замѣтили.

По свѣдѣніямъ, собраннымъ Брусницынымъ въ Кульдѣ отъ китайскихъ властей, оказалось, что землетрясеніе 28 мая ощущалось въ Дринь-хо, Шихо, а также на оз. Эбинорѣ, что подтверждается данными Игнатьева о сотрясеніи въ Барлыкскихъ горахъ, далѣе въ Манасѣ и даже въ Урумчи и Турфанѣ, но въ весьма слабой степени, а по сообщенію г. Галкина, путешествовавшего осенью 1887 г. въ сосѣднихъ китайскихъ владѣніяхъ, землетрясеніе чувствовалось только въ лѣссовыхъ долинахъ, среди горъ, и было незамѣтно на гребняхъ горъ, состоящихъ изъ твердыхъ породъ.

Вслѣдствіе подозрительности китайцевъ, трудности и отдаленности пути, требовавшемъ большихъ расходовъ, путешествіе въ Урумчи пришлось отложить, тѣмъ болѣе, что восточнѣе Кульджи землетрясеніе 28 мая проявилось весьма слабо, видимыхъ слѣдовъ ни въ природѣ, ни въ зданіяхъ оно не оставило, а разспросы у китайцевъ едва ли бы могли привести къ чему нибудь больше того, что сообщено китайскою администраціею въ Кульдѣ. Замѣчу здѣсь кстати, что совершенно по той же причинѣ не сдѣлано нами путешествія и въ Кашгаръ.

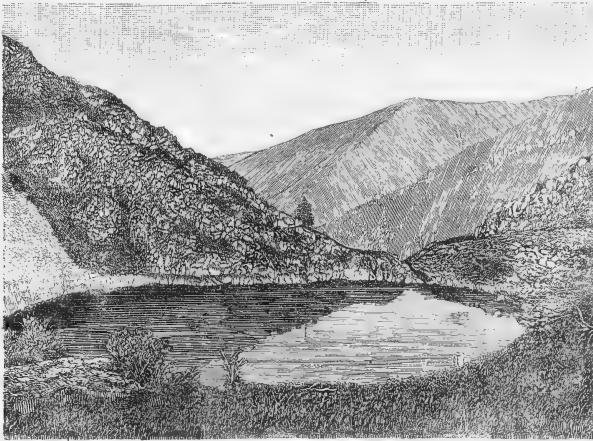
По лѣвую сторону р. Или, къ югу отъ Кульджи, землетрясеніе замѣчено киргизами на Текесѣ у пер. Кемень и въ другихъ мѣстахъ, а при устьѣ р. Темерликъ образовался небольшой оползень въ видѣ жидкой грязи (оплывина), занявшій площадь около одной десятины. Съ предварительнымъ подземнымъ гуломъ землетрясеніе чувствовалось во всей долинѣ Джеланашъ (около 4000 ф. высоту), въ долинѣ Баркара и Музарга. Въ долинѣ Чилика оно проявилось слабо, хотя въ моментъ удара 28 мая во многихъ мѣстахъ съ крутыхъ склоновъ долины Шаты слетѣли небольшіе камни съ известковыхъ и сланцевыхъ утесовъ. Въ горахъ Турайгырь и Сугаты слышенъ былъ только подземный гулъ, а колебанія не замѣчено.

Гораздо отчетливѣе землетрясеніе проявилось въ деревнѣ Зайцевской (Чиликѣ), гдѣ наблюдаются небольшія поврежденія въ зданіяхъ и особенно въ церкви. Ударъ направлялся съ WSW, а по нѣкоторымъ, прямо съ W; въ церкви онъ произвелъ нѣсколько почти вертикальныхъ трещинъ по угламъ и горизонтальныхъ сдвиговъ въ аркахъ и дверныхъ сводахъ; одна колонка внутри церкви повернулась къ NO на 7°, а крестъ на altarѣ черезъ двѣ недѣли послѣ 28 мая повернулся въ противоположную сторону на 12°. Во многихъ домахъ свалились трубы и образовались трещины, большую часть уже замазанныя во время моего проѣзда, но нѣкоторыя еще видны были; паденіе ихъ то SO, то NO, уголъ около 70°. Въ Тургени землетрясеніе отразилось также слабо, какъ и въ Чиликѣ, но въ дер. Маловой удары чувствовались сильнѣе, хотя разрушеній большихъ также не было. Подземный гулъ раздавался съ W и SW.



Въ выселкѣ Надеждинскомъ (Иссыкѣ) ударъ чувствовался хотя еще сильнѣе, но разрушеній почти не было, за исключеніемъ небольшихъ трещинъ въ домахъ, падающихъ около  $70^{\circ}$  къ  $SO120^{\circ}$ . Деревянная церковь сохранилась совершенно, даже въ стѣнахъ не замѣтно трещинъ. Ближе къ горамъ ударъ чувствовался сильнѣе, но никакихъ замѣтныхъ измѣненій въ долинѣ Иссыка не произвелъ. Только уже на значительной высотѣ около 6000 ф., вблизи древней поперечной морены, запруживающей два замѣчательныхъ, по красотѣ береговъ и ярко-зеленому цвѣту воды, ледниковыхъ озера, Малое нижнее и Большое верхнее, образовались небольшія осыпи среди скалъ фельзитоваго порфира, окружающихъ озеро, соединенныя высокими и бурными водопадами. Скалы порфира представляютъ въ высшей степени фантастическія очертанія и часто отвѣсно ниспадаютъ въ озеро (фиг. 17, см. также ниже). Хвойный лѣсъ, покры-

Фиг. 17.



Малое нижнее озеро Джасыль-куль въ долинѣ Иссыка.

вающій скалы, придаетъ жизненность и красоту этому величественному ландшафту. Всѣ подобнаго рода моренныя озера, отличающіяся зеленымъ цвѣтомъ воды, отмѣчены киргизами особымъ названіемъ Джасыль-куль. Выше Иссыкского Джасыль-куля сотрясенія чувствовались весьма слабо, такъ что нѣкоторые казаки, бывшіе въ ночь съ 27 на 28 мая у верхней границы лѣса, т.-е. на высотѣ 10,000 ф. и болѣе, совсѣмъ не слышали подземныхъ ударовъ. Такимъ образомъ въ долинѣ Иссыка землетрясеніе 28 мая проявилось наиболѣе сильно въ средней части долины, т.-е. между высотой 3—4000 ф. и до 8000 фут.

Въ Софійской станицѣ (Талгаръ тожь) землетрясеніе 28 мая отразилось болѣе разрушительно; пострадали не только нѣкоторые бѣдные, дурно построенные дома, но даже новое хорошее зданіе школы, каменная колокольня при деревянной церкви, которая однако не получила никакихъ слѣдовъ поврежденія, хотя построена гораздо раньше колокольни, выстроенной въ 1379 году. Въ колокольнѣ трещины падаютъ  $NO2h$  и  $SW2h$  у.  $60^\circ$ ; крестъ упалъ на  $NO2h$ . Во время землетрясенія звонили колокола, но только тѣ, которые висѣли по меридіональному направленію, а большой колоколъ, языкъ котораго былъ прикрѣпленъ къ западной стѣнѣ, не звонилъ и не оборвался. Въ домѣ

Фиг. 18.



священника, въ каменной пристройкѣ, вылетѣла стѣна на  $NO2h$ . Въ зданіи школы наибольшія разрушенія:  $NW$  стѣна отошла, а  $NO$ -я уцѣлѣла; окошко на чердакѣ выскочило къ  $SW2h$ , въ томъ же направленіи сдвинулась крыша надъ балкономъ. (фиг. 18). Трещины въ стѣнахъ многочисленны и падаютъ  $NO2h$  или  $SW2h$  около  $70^\circ$ .

Въ домѣ казака Сергѣева, выстроеннаго изъ хорошаго кирпича, упала печь къ  $SW2h$ , своды надъ дверями вывалились; окна потрескались; трещины въ стѣнахъ падаютъ  $NO2h$  и  $SW2h$  у.  $70^\circ$ . Другая половина дома, еще недостроенная, осталась безъ всякихъ поврежденій. Домъ Владиміра Иванова, очень плохой, единственный, ко-

торый разрушило совершенно, остались только фундаментъ и часть стѣны съ ясно выраженными трещинами, падающими NO2h у. 75° и на SW2h, у. 80° (фиг. 19).

Вообще въ Талгарѣ интенсивность разрушенія гораздо больше въ нижней части станицы, почва которой состоитъ изъ валунныхъ накопленій, нежели въ верхней, гдѣ подъ валунами залегаетъ мощный слой лёсса.

Выше Софійской ст., по долинѣ р. Талгара, при выходѣ этой послѣдней изъ горъ, на глинистыхъ довольно крутыхъ склонахъ ея замѣчается два небольшихъ оползня, происшедшіе отъ подземныхъ ударовъ 28 мая. Плоскость оползней представляетъ узкія полосы (до 20 мет.), залегающія поперегъ склона; длина ихъ равна почти половинѣ высоты склона, т. е. около 60 метровъ. Лессовидная, желтовато-сѣрая глина, сползшая

Фиг. 19.



со склоновъ и размягченная водою, расположилась у подножія склоновъ въ видѣ небольшого грязеваго потока, площадью около 500 кв. метровъ и толщиной около  $\frac{1}{2}$  метра. Это, если не считать мелкихъ Иссыкскихъ осыпей, первые оползни или какъ ихъ на мѣстѣ очень удачно назвали — оплывины, на сѣверномъ склонѣ Заилійскаго Алатау восточнѣе г. Вѣрнаго и произведенные землетрясеніемъ 28 мая. Имъ начинается цѣлый рядъ многочисленныхъ и громадныхъ оплывинъ, оползней, сбросовъ, сдвиговъ и обваловъ, которые, начиная отъ Талгарскихъ, тянутся почти непрерывно, но нѣсколько въ каждой поперечной долинѣ, по сѣверному склону Заилійскаго Алатау, въ полосѣ между 3000 и 7000 ф. до долины Каскелена и даже далѣе, почти до долины Узунъ-агачъ, гдѣ они впрочемъ такіе же незначительные какъ и на Талгарѣ; главное же ихъ развитіе между долинами Бель-Булакъ и Каскеленомъ, гдѣ они достигаютъ наибольшаго

размѣровъ и представляютъ самыя значительныя и интересныя слѣды разрушенія въ горахъ, произведенныя землетрясеніемъ 28 мая, а потому, не прерывая нашего изложенія, мы опишемъ ихъ ниже отдѣльно, подъ особой рубрикой, тѣмъ болѣе, что они имѣютъ самое важное значеніе для опредѣленія площади эпицентра землетрясенія 28 мая, а теперь изложимъ данныя, собранныя къ западу и югу отъ г. Вѣрнаго.

Наблюденія къ западу и югу отъ г. Вѣрнаго.

Выселокъ Любовный (Каскелень) находится къ западу отъ г. Вѣрнаго почти въ такомъ же разстояніи (27 в.), какъ Талгаръ къ востоку (24 в.) и Карасу къ сѣверу (25 в.), почти съ такимъ характеромъ построекъ, т. е. съ большинствомъ деревянныхъ домовъ какъ и въ Талгарѣ; интенсивность разрушенія его почти такая же, какъ и въ Талгарѣ.

Фиг. 20.



28 мая въ 4 ч. 36 м. утра произошелъ слабый подземный толчекъ, продолжавшійся одну минуту; черезъ 5—10 минутъ послышался сильный гулъ, какъ бы происшедшій отъ пушечной пальбы и шедшій по направленію отъ Аксаа, т. е. съ SO. За шумомъ непосредственно послѣдовалъ сильный толчекъ, продолжавшійся  $1\frac{1}{2}$  минуты; отъ этого толчка разрушены каменныя зданія въ станицѣ. Послѣ 28 мая толчки повторялись въ продолженіе  $1\frac{1}{2}$  недѣль, по нѣскольку разъ въ день. Въ зданіи сельскаго училища (фиг. 20), выстроеннаго капитально изъ жженого кирпича, наиболѣе пострадала южная стѣна, наклонившаяся на сѣверъ и отчасти обвалившаяся; во флигелѣ вывалился уголь (съ простираніемъ SO— $160^\circ$  и паденіемъ  $76^\circ$  на SW— $250^\circ$ ). Всѣ стѣны разошлись и покрылись сквозными трещинами, часть кирпичей изъ нихъ вывалилась; толчки, правда, не упали, но связь всего зданія нарушилась и оно едва держится. Толчки

были настолько сильны, что изъ-подъ деревяннаго крыльца вытрясло весь кирпичный фундаментъ съ одной стороны. Словомъ, какъ и Талгарская школа, это было лучшее зданіе во всемъ селеніи и оно пострадало больше всего. Столбы въ церковной оградѣ дали сквозныя вертикальныя трещины, мѣстами же верхнія части отдѣлились горизонтальными трещинами. Одинъ столбъ повернулся на западъ, на уголъ  $10^{\circ}$ . Каменные колонны, стоящія около деревянной церкви, а также колонны, подпирающія колокольню, дали горизонтальныя и вертикальныя трещины; вообще трещины имѣютъ преимущественно горизонтальное или вертикальное направленіе. Деревянныя зданія въ станицѣ почти не пострадали, за исключеніемъ развалившихся печей; каменныхъ же домовъ очень мало и нѣкоторые изъ нихъ совершенно разрушились (фиг. 21). Заборы, сложенные изъ сырца, большею частью развалились,

Фиг. 21.



Станица расположена на лёссѣ, который, судя по обнаженіямъ между станціями Любовной и Узунъ-Агачъ, залегаеъ здѣсь довольно мощнымъ слоемъ. По словамъ станичнаго атамана, землетрясеніе выражалось частыми мелкими волнами, а иногда какъ бы подбрасывало сверху.

Въ 20-ти верстахъ отъ Любовнаго, по направленію NW— $340^{\circ}$ , по берегамъ Ащи-Булака замѣтны широкія трещины. По дорогѣ изъ Любовнаго въ Узунъ-Агачъ, на протяженіи 18 верстъ, въ предгоріяхъ Зайліскаго Алатау замѣтны оплывины, которыя уменьшаются въ числѣ и величинѣ, по мѣрѣ удаленія отъ Любовнаго на западъ.

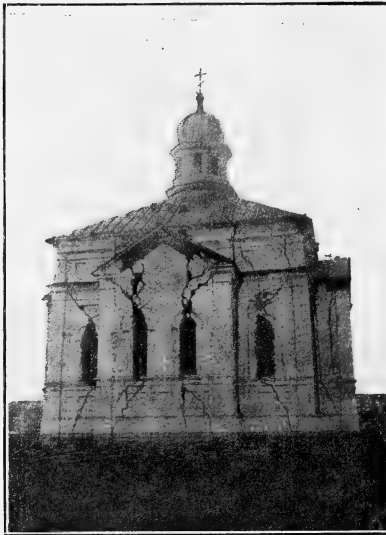
Станція Узунъ-Агачъ (Казанско-Богородское), 28 мая въ 4 ч. 38 м. утра произошелъ подземный толчекъ, спустя 5—10 минутъ послышался гулъ, шедшій какъ бы по направленію къ Самъ-Суйской станціи, т.-е. съ SO къ NW; затѣмъ началось сильное волнообразное сотрясеніе почвы, продолжавшееся 2 минуты, отъ котораго всѣ

дома въ селеніи разрушены. Послѣ 28 мая сильныя толчки продолжались въ теченіе цѣлой недѣли и всегда сопровождались гуломъ. Толчки повторялись въ теченіе цѣлаго мѣсяца, но подѣ конецъ стали едва замѣтны.

Съ 9 на 10 августа въ 2 часа ночи былъ сильный толчекъ съ шумомъ, повалившій двѣ трубы во вновь построенныхъ домахъ.

Въ домѣ Николая Андропова южная стѣна вся вывалилась, остальные дали вертикальныя трещины; верхняя часть западной стѣны сдвинута на  $1\frac{1}{2}$  вершка на западъ, южная стѣна наклонилась на югъ. Въ амбарѣ всѣ стѣны съ вертикальными трещинами.

Фиг. 22.



Въ домѣ Филиппа Халева обвалилась часть восточной и южной стѣнъ; домъ рас-  
трескался по всемъ угламъ. У Кадыкина западная и восточная стѣны дома наклони-  
лись на западъ. Въ домѣ Ожерельева обвалилась часть южной стѣны; трещины въ  
остальной части южной стѣны имѣютъ паденіе  $70^\circ$  на западъ.

Сельская церковь получила много поврежденій: въ сѣверной стѣнѣ, по срединѣ,  
образовалась вертикальная трещина, а по бокамъ—нѣсколько трещинъ, имѣющихъ  
противоположное направленіе: 1) паденіе  $60^\circ$  на SW— $260^\circ$  и 2)  $63^\circ$  на NO— $80^\circ$ .  
Въ восточной стѣнѣ вертикальныя трещины съ паденіемъ  $65^\circ$  на SO— $175^\circ$ . Южная

стѣна нѣсколько отошла отъ сквозной вертикальной трещины. Вертикальныя трещины въ южной и сѣверной стѣнахъ составляютъ какъ бы продолженіе одна другой; вообще эти стѣны пострадали болѣе остальныхъ (фиг. 22).

Въ часовнѣ, стоящей на горѣ, западнѣе с. Узунъ-агачъ, сдвинуло престолъ на 1 верш. по направленію на SO—95°.

Въ восточной стѣнѣ станціоннаго зданія образовалась трещина съ паденіемъ 50° на SO—175°, сѣверная стѣна вывалилась, восточная—наклонилась на востокъ; трубы упали на сѣверъ.

Вообще въ селеніи Казанско-Богородскомъ (около 113 домовъ) разрушенія оказались больше, нежели въ Каскеленѣ или Талгарѣ, но это потому, что здѣсь всѣ дома построены изъ сырца или глины и очень мало деревянныхъ.

На станціи Таргапской, въ 5 ч. утра 28 мая былъ слышенъ шумъ, шедшій по направленію отъ горъ; за нимъ послѣдовало волнообразное движеніе почвы, продолжавшееся 1 мин. Въ печкѣ и стѣнахъ станціоннаго зданія образовались незначительныя трещины.

Послѣ 28 мая толчки повторялись нѣсколько разъ.

Станція Отарская. 28 мая въ 5 час. 30 м. утра слышали шумъ, похожій на сильный вѣтеръ, послѣ котораго началось колебаніе почвы. Съ пикета упали двѣ трубы, обѣ на сѣверъ. Въ углахъ образовались трещины. Послѣ 28 мая толчки повторялись раза три. 20 августа въ 6 час. вечера былъ довольно сильный толчекъ.

Станція Курдайская. Отъ землетрясенія 28 мая въ углахъ стѣнъ появились небольшія трещины. Очевидцевъ землетрясенія на станціи не оказалось.

Станція Сюгатинская. 28 мая въ 5 ч. 5 мин. утра сначала послышался сильный шумъ, шедшій отъ горъ; затѣмъ тотчасъ же послѣдовалъ толчекъ и началось волнообразное сотрясеніе, продолжавшееся не болѣе 5 минутъ. Во время землетрясенія, но по прекращеніи шума, слышалась въ горахъ какъ бы пушечная пальба. 28 мая землетрясеніе повторялось нѣсколько разъ, впоследствии же не возобновлялось. Изъ поврежденій замѣтны только небольшія трещины въ штукатуркѣ станціоннаго зданія.

Станція Константиновская. 28 мая въ 5 час. утра было слабое сотрясеніе почвы, продолжавшееся 2 мин.; 15 минутъ спустя былъ слышенъ гулъ. Разрушеній не было.

Г. Пишпекъ. 28 мая въ 4<sup>3</sup>/<sub>4</sub> часа утра жители были разбужены и всѣ выскочили изъ домовъ отъ сильнаго землетрясенія, продолжавшагося около 2 минутъ. Колебаніе почвы было дрожащее и очень плавное, безъ толчковъ. Разрушеній не только въ Пишпекѣ, но вообще въ Токмакскомъ уѣздѣ не было, за исключеніемъ незначительныхъ трещинъ. Послѣ землетрясенія, спустя минуту, со стороны г. Вѣрнаго былъ слышенъ подземный грохотъ, похожій на сильную канонаду изъ орудій. Это продолжалось съ минуту. Сотрясенія повторялись еще нѣсколько дней сряду послѣ 28 мая. Съ пер-

выхъ чиселъ юня землетрясенія стали рѣдки и слабы, такъ что многіе не замѣчали ихъ. Въ нагорной части уѣзда, по разсказамъ киргизъ, землетрясеніе проявилось почти такъ, какъ въ Пишпекѣ.

Станція Сукулукская. 28 мая въ 5 ч. 30 м. утра было также слабое землетрясеніе, безъ разрушеній.

Селеніе Бѣловодское. 28 мая въ 6 часовъ утра въ горахъ происходила какъ бы пушечная пальба, перемежавшаяся съ гуломъ. Отъ землетрясенія поврежденій въ домахъ, а равно и обваловъ въ горахъ, не было.

Станція Карабалты. 28 мая въ 5 часовъ утра было довольно чувствительное землетрясеніе; нѣкоторые даже слышали шумъ, шедшій отъ Пишпека. Разрушеній не было.

Станція Човталъ,—былъ слышенъ слабый шумъ и легкое сотрясеніе почвы; на сазахъ (болотахъ), въ 1-й верстѣ отъ станціи, землетрясеніе чувствовалось сильнѣе. Послѣ 28 мая землетрясеніе не повторялось.

На станціи Мерке былъ того же числа слабый толчекъ, но шума слышно не было.

На станціяхъ Мунькинской и Тарты 28 мая было слабое землетрясеніе.

Также слабое землетрясеніе чувствовалось и на станціи Кумъ-Арыкъ, гдѣ слышенъ былъ и шумъ. Станція расположена на галькахъ.

Станція Молдыбаевская. 28 мая было слабое сотрясеніе безъ шума.

Станція Акыръ-Тюбе. Показаній о землетрясеніи нѣтъ: никто его не слышалъ; станція расположена на толстомъ слоѣ лѣсса.

Станція Акъ-Чулакъ. 28 мая было землетрясеніе,—сначала слабое, затѣмъ слышенъ былъ шумъ и послѣдовалъ сильный толчекъ. Разрушеній не было.

Станція Учъ-Булакъ. 28 мая было слабое землетрясеніе почвы; въ горахъ слышали сильный шумъ, гулъ, повторявшійся нѣсколько разъ.

Станція г. Аулія-Ата. 28 и 30 мая было слабое землетрясеніе.

Станція Головачевская. 28 мая въ 5 часовъ утра было слабое сотрясеніе безъ шума. Послѣ 28-го землетрясеніе повторилось еще разъ.

Станція Куюкъ. На станціи землетрясенія не слышали.

Станція Терсъ. 28 мая было слабое землетрясеніе и гулъ, шедшій отъ горъ.

Станція Чакпакъ. 28 былъ слышенъ сильный шумъ и довольно чувствительное сотрясеніе почвы.

На станціи Тюлко-Башъ землетрясенія не слышали.

Станція Яскичу. 28 мая было очень слабое землетрясеніе и шумъ.

Станція Машатъ. 28 мая было очень слабое землетрясеніе.

Станція Чимкентъ. 28 мая было довольно чувствительное землетрясеніе. Въ Чимкентѣ сообщали, что въ горахъ Каратау, около дер. Чулакъ, чувствовалось сотрясеніе почвы рано утромъ 28 мая; тоже говорили про ст. Бугунъ.

Станція Акъ-Ташъ. 28 мая чувствовалось землетрясеніе безъ шума.



Станція Акъ-Джаръ. 28 мая слышали очень слабое сотрясеніе почвы.

Г. Ташкентъ. 28 мая было замѣчено слабое землетрясеніе, отмѣченное въ 4 ч. 18 м. утра мѣстнаго времени.

За Ташкентомъ, по дорогѣ въ г. Самаркандъ, несмотря на густое населеніе, никто не замѣтилъ колебанія почвы 28 мая, а потому г. Ташкентъ, или самое большее Сыръ-дарья, западнѣ Ташкента, можетъ считаться крайнею западною границею распространенія землетрясенія 28 мая, также какъ Урумчи на востокъ и Сергіополь на сѣверъ.

Къ востоку отъ Ташкента, именно въ Ферганѣ, землетрясеніе 28 мая, по разсказамъ, чувствовалось, но очень слабое, такъ что большинство даже не замѣтило его. Изъ всѣхъ мѣстъ Ферганы наиболѣе вѣроятными были свѣдѣнія о сотрясеніи въ Буадилѣ и Узгенѣ. Далѣе, на востокъ, есть извѣстіе о Кашгарѣ; въ одной замѣткѣ говорится <sup>1)</sup>, что „землетрясеніе въ Кашгарѣ 28 мая было утромъ и въ 12 час. дня весьма слабое; поврежденій никакихъ не произвело“. По разсказамъ киргизскихъ купцовъ, землетрясеніе чувствовалось даже южнѣ г. Кашгара, а также въ гг. Карашарѣ и Куча, но показанія эти были довольно неопредѣленны, какъ и о Ферганѣ. Во всякомъ случаѣ, г. Кашгаръ, послѣдній пунктъ къ югу отъ Вѣрнаго, гдѣ землетрясеніе 28 мая констатировано русскимъ консуломъ, г. Петровскимъ.

Въ Нарынскомъ укрѣпленіи, среди системы горъ Тянь-шаня землетрясеніе отразилось весьма чувствительно; воинскій начальникъ г. Ларіоновъ сообщаетъ <sup>2)</sup>, что 28 мая въ 4 ч. 30 м. утра произошелъ первый сильный толчекъ, продолжавшійся около 30 секундъ; затѣмъ болѣе слабые наступили черезъ 15 минутъ и продолжались до 5 секундъ; затѣмъ повторились 29 мая въ 1 ч. 25 м. дня и 4 іюня въ 4 ч. утра, но оба эти сотрясенія были значительно легче перваго. „Особеннаго вреда зданіямъ, кромѣ незначительныхъ трещинъ въ стѣнахъ, не произвело, а лишь только напугало весь гарнизонъ и гражданъ Нарына“. Кстати помѣщаю цѣликомъ интересную замѣтку о Нарынскихъ землетрясеніяхъ, любезно сообщенную мнѣ воинскимъ начальникомъ Нарынскаго укрѣпленія, полковникомъ Ларіоновымъ, который, по прибытіи въ Нарынъ, впервые сталъ вести записи о землетрясеніяхъ съ 20 іюля 1885 г., равно какъ основать и метеорологическую станцію тамъ. Онъ сообщилъ мнѣ слѣдующіе случаи землетрясенія въ Нарынѣ:

1885 г.

Ночью въ 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> часа на 22 іюля сильное землетрясеніе, продолжавшееся до 2 минутъ, съ сильнымъ подземнымъ шумомъ; колебаніе земли замѣчено съ запада на востокъ, которое черезъ четверть часа повторилось, но съ меньшей силой. Этимъ землетрясеніемъ повредило нѣкоторыя казенныя зданія.

<sup>1)</sup> Турк. Вѣд. № 30, за 1887 г.

<sup>2)</sup> Рапортъ отъ 8 іюля 1887 г. за № 1447.

Ночью на  $\frac{8}{20}$  сентября, въ 1 ч. 30 м., было три приѣма землетрясенія; первый съ сильнымъ гуломъ, продолжавшійся до 1 минуты, волна замѣчена съ запада на востокъ; это землетрясеніе повторилось черезъ 15 минутъ, но слабѣе перваго. Особенныхъ поврежденій, кромѣ незначительныхъ трещинъ стѣнъ въ казармахъ, не произвело.

Легкія землетрясенія: сентября 9 послѣ полудня въ 5 часовъ, 10-го въ 4 часа утра и 11-го въ 7 ч. утра, въ продолженіе каждый разъ до 2 — 3 секундъ; вреда для зданій не произведено. Таковыя же легкія секундныя землетрясенія повторились ночью 12 и 19 сентября.

$\frac{\text{Октября } 25}{\text{Ноября } 6}$  ночью въ  $3\frac{1}{2}$  часа легкое безвредное, до 2 секундъ, землетрясеніе.

Ноября  $\frac{17}{29}$ , ночью легкое, до секунды, землетрясеніе.

1886 г.

Января  $\frac{5}{19}$  утромъ въ 4 часа замѣчено легкое землетрясеніе, до 2 секундъ, которое вреда не принесло.

Октября 20 ночью въ 12 час. легкое, до секунды, землетрясеніе.

1887 г.

28 января днемъ въ 1 часъ 20 м. легкое, до 2 секундъ, землетрясеніе.

28 мая утромъ въ 4 ч. 20 м. сильное землетрясеніе, до 10 секундъ, которое повторилось черезъ 15 минутъ еще 2 раза, но слабѣе перваго удара.

29 и 30 мая въ 1 часъ дня легкія, до 5 секундъ, землетрясенія; таковыя же были слышны и ночью въ эти числа.

31 мая и 1 іюня легкія сотрясенія земли замѣчены ночью и утрами въ 4 часа 4, 6, 8 и 11 іюня ночью въ 3 часа замѣчены легкія, до 2 — 3 секундъ, землетрясенія.

15 іюня въ 6 час. 40 м. утра чувствительный толчекъ землетрясенія, до 3 секундъ; далѣе, до 8 іюля, легкія сотрясенія замѣчались въ Нарынѣ почти каждодневно.

7 и 9 августа замѣчено ночью сотрясеніе земли, до 5 секундъ, послѣ котораго до сего дня, т.е. до 8 сентября 1887 г. сотрясеній земли не замѣчено.

Въ добавленіе къ этому, въ письмѣ ко мнѣ г. Ларіоновъ указываетъ, что по получаемымъ имъ свѣдѣніямъ изъ Кашгара видно, что тамъ всѣ случаи землетрясеній почти совпадаютъ въ одно время сутокъ съ землетрясеніями въ Нарынѣ, лишь только съ нѣкоторою разницею въ часахъ, и менѣе чувствительны чѣмъ въ Нарынѣ.

Въ горахъ къ N—у отъ Нарына, по разсказамъ киргизъ, во многихъ мѣстахъ слышался подземный гулъ утромъ 28 мая, напр. на Джуванъ-арыкѣ, около Улахола и пр., но отчетливѣе по южному берегу оз. Иссыкъ-куля, напр. въ дер. Сливкиной и въ г. Караколѣ, гдѣ впрочемъ предупредительныхъ ударовъ не было и разрушенія

ограничились только ничтожными трещинами, точно также на Савь-ташъ и въ дер. Преображенской, но вообще западнѣ Каракола оно проявилось сильнѣе, особенно на сѣверномъ берегу озера; такъ въ дер. Уй-талѣ, расположенной у подошвы порфириоваго отрога Кунгей-Алатау, подходящаго здѣсь весьма близко съ озеру, попадали трубы и развалились нѣкоторыя ветхія стѣны; колебанія были волнообразныя, около 5 час. утра 28 мая. Трещины въ домахъ падаютъ NO4h и SW4h у. 70°. Гораздо болѣе пострадала дер. Сазановка, расположенная на рыхлыхъ наносахъ береговъ Иссыкъ-куля. По разсказамъ жителей, еще за недѣлю до 28 мая, вода въ колодцахъ, противъ церкви, изъ прѣсной сдѣлалась солоноватой и болѣе теплой. Наканунѣ безпокоился скотъ и особенно свиньи. Передъ сильнымъ ударомъ, минуты за 2, слышенъ былъ гулъ въ родѣ тяжелаго экипажа, ѣдущаго по мостовой; гулъ направлялся съ NW отъ горъ. Ударомъ, около 5 час. утра, повреждены многіе дома и каменная церковь. Въ церкви стѣна, прилегающая къ алтарю и простирающаяся NW11h, отошла къ NO5h вершка на два, покрылась вертикальными трещинами и теперь поддерживается только подпорами. Въ стѣнахъ, перпендикулярныхъ къ этой, много трещинъ, падающихъ NO5h у. 60°, а въ противоположной паденіе трещинъ NO3h у. 50°. Во время землетрясенія церковь раскачивалась съ NO къ SW, т. е. почти вдоль горъ, и два раза звонили колокола. По другимъ показаніямъ, волнообразное качаніе шло съ SO отъ озера. На площадкѣ у пруда образовались трещины съ NW простираниемъ. Во многихъ домахъ трещины падаютъ NW8h у. 70°; на большой улицѣ въ каменныхъ домахъ подбросило крышу; въ углахъ вертикальныя трещины по 2 вершк. шириною, а въ стѣнахъ падаютъ SO8h у. 60°. Преимущественно разрушило S и SO стѣны. Съ горъ, противъ Сазановки, катились большіе камни, убившіе много барановъ.

На станціи Курумдинской 28 мая около 5 ч. утра волнообразное колебаніе сопровождалось гуломъ. Въ станціонномъ домѣ во всѣхъ углахъ образовались вертикальныя трещины; въ горахъ противъ станціи произошли маленькія оплывины и летѣли камни, „величиною съ домъ“. Съ 28 мая все время слышались удары до 13 августа, когда было три удара, но болѣе слабыя, чѣмъ 28 мая. По дорогѣ изъ Курумдинской ст. къ Чулпанъ-атинской около небольшой рѣчки Долонъ-ату находятся замѣчательно типичныя древнія моренныя накопленія въ видѣ продолговатыхъ уваловъ, весьма похожихъ на финляндскіе озы, но меньшей величины (фиг. 23); они подходятъ почти къ самому озеру Иссыкъ-кулю. По западную сторону этихъ ледниковыхъ уваловъ среди песчано-глинистыхъ съ валунами отложений произошелъ во время землетрясенія 28 мая небольшой оползень, высотой до 10 м.; сползшій матеріалъ образовалъ беспорядочный сухой навалъ у подошвы обрыва (фиг. 23).

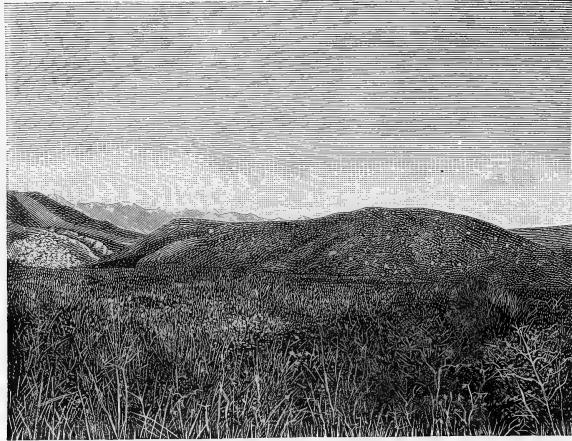
На станціи Чулпанъ-атинской сильный ударъ произошелъ 28 мая въ 4 ч. 45 м.; въ домѣ образовались трещины съ паденіемъ SO у. 70°, но небольшія, такъ что поврежденія не мѣшаютъ жить въ домѣ. Около станціи въ 250 саж. отъ нея 1) „при

1) Рапортъ Иссыкъ-кульскаго уѣзднаго начальника отъ 1 іюня 1887 г. № 3574.

Труды Геол. Ком. Т. X, № 1.

впаденіи Чулпанъ-атинки въ озеро Иссыкъ-куль, часть берега шириною 10—12 саж. осѣла внизъ фута на 3 и по всей осѣвшей мѣстности образовались трещины, изъ которыхъ вода была фонтаномъ и выбрасывала смѣсь магнитнаго желѣзнаго и кварцеваго песка. Изъ трещинъ выходилъ тяжелый запахъ горячей сѣры; мѣста изверженій представляли воронкообразныя углубленія. По словамъ почтосодержателя Масловскаго, изверженія къ 10 час. утра 28 мая прекратились, но запахъ сѣры былъ еще слышенъ. Западнѣе р. Чулпанъ-атинки, противъ станціи, на мысу, покрытомъ кустарниками обленихи, произошелъ другой маленькій оползень, а именно береговая полоса

Фиг. 23.



„шириною саж 15, съ поросшимъ на ней камышемъ и обленихой, погрузилась въ воду, такъ что верхушки камыша едва замѣтны изъ-подъ воды“. Прибрежье это болотистое, съ массою перегноя, залегающаго въ песчано-глинистыхъ осадкахъ съ гальками; отсюда неудивителенъ запахъ сѣроводорода изъ образовавшихся трещинъ. Эти ничтожные оползни дали поводъ слухамъ объ ужасныхъ провалахъ на Иссыкъ-кулѣ и способствовали обвиненію оз. Иссыкъ-куля въ причиненіи землетрясенія 28 мая. Сотрясеніе 28 мая продолжалось до 9 час. утра; повторилось въ 6 час. вечера, ночью, въ 4½ час. утра и въ 2 часа дня 29 мая; ночью на 30 было три сильныхъ удара; затѣмъ изрѣдка повторялось до августа, но наиболѣе сильное было 4 іюня въ 10 час. утра и 10 час. вечера. Къ западу отъ Чулпанъ-аты на 9-й вер. у р. Кой-су также изъ трещинъ была вода на берегу озера, а въ горахъ валялись большіе камни, погубившіе много скота, преимущественно барановъ.

Станція Чокталъ. 28 мая въ 6 час. утра былъ слышенъ сильный шумъ, за-

тѣмъ волнообразное движеніе почвы, продолжавшееся минутъ 5, которое черезъ 15 минутъ снова повторилось. Въ третій и послѣдній разъ сотрясеніе повторилось 28 мая въ два ч. дня. Въ зданіи пикета образовалась сквозная трещина съ паденіемъ  $65^{\circ}$  на  $SO-150^{\circ}$ .

На станціи Турайгырь 28 мая въ 5 час. утра былъ слышенъ какъ бы громъ, шедшій изъ Каракола, затѣмъ началось сотрясеніе почвы, отъ котораго качало и подбрасывало вверхъ такъ сильно, что нельзя было стоять на ногахъ. Поврежденій не было.

На станціи Кутемалды 28 мая въ 4 часа утра былъ слышенъ сильный шумъ, затѣмъ началось сотрясеніе почвы, продолжавшееся 15—20 минутъ. Послѣ 28 мая землетрясеніе повторялось нѣсколько разъ, но сравнительно слабо.

Станція Кокъ-Майнакъ. 28 мая въ 6 ч. утра было довольно сильное землетрясеніе. Трубы съ пикета свалились на  $NO-45^{\circ}$ . По срединѣ печи зданія пикета проходитъ вертикальная трещина съ простираниемъ  $NW 325^{\circ}$ .

Станція Джиль-Арыкъ расположена на порфирахъ, въ зданіяхъ поврежденій не было. Со склона ущелья, противоположнаго станціи, свалился одинъ камень.

Селеніе Карабулакъ. 28 мая въ 6 час. утра по направленію отъ Токмака былъ слышенъ шумъ, продолжавшійся около 30 минутъ. Затѣмъ началось сотрясеніе почвы, продолжавшееся  $\frac{1}{2}$  часа, постепенно ослабѣвая. Дома дали незначительныя трещины. Въ домѣ Тараса Мохвейкова упала труба по направленію на  $NW 350^{\circ}$ ; наконецъ, въ зданіи стараго пикета вывалилась сѣверная стѣна.

Въ Сары-Джасѣ 28 мая въ 6 час. утра было слабое сотрясеніе почвы; съ горъ скатились нѣсколько камней. Въ баракѣ поврежденій не было.

Кастекъ. 28 мая въ 5 час. утра было слабое сотрясеніе почвы. Поврежденій въ баракѣ не было.

На станціи Самъ-Суйской 28 мая въ 4 часа 30 м. утра послышался шумъ похожій на выстрѣлъ изъ орудій. Направленіе, по которому приближался этотъ шумъ, опредѣлить было невозможно. Затѣмъ началось волнообразное колебаніе почвы, продолжавшееся 2 минуты. Съ пикета свалилась труба по направленію къ югу, а стѣны его дали незначительныя трещины, опредѣлить направленіе которыхъ было невозможно, такъ какъ ко времени осмотра пикета онъ былъ уже отремонтированъ. Въ конюшнѣ образовалась широкая горизонтальная трещина съ простираниемъ  $O$ . Послѣ 28 мая удары повторялись ежедневно въ теченіе цѣлой недѣли.

Такимъ образомъ мы имѣемъ фактическія данныя въ пользу того, что землетрясеніе 28 мая распространилось не только вдоль Тянь-шаня, но и поперекъ его. Съ одной стороны наблюденія въ Кашгарѣ, на Нарынѣ и на Иссыкъ-кулѣ доказываютъ сотрясеніе поперекъ южно Тянь-шаньскихъ хребтовъ, а съ другой — наблюденія по Буаму, на Сараджасѣ и Кастекѣ свидѣтельствуютъ о распространеніи его поперекъ Кунгей-Алатау и Заилійскаго-Алатау. Къ этому можно прибавить еще, что въ про-

дольной долины Кебина, отдѣляющей оба названные хребта, сотрясеніе 28 мая утромъ чувствовалось весьма отчетливо, особенно въ средней части долины, хотя и не оставило никакихъ видимыхъ слѣдовъ. Несмотря, однако, на такое очевидное распространеніе землетрясенія поперекъ всѣхъ хребтовъ, нѣтъ ни одного свидѣтельства или только отрицательныя за то, чтобы землетрясеніе проявилось на гребняхъ или вершинахъ высокихъ хребтовъ; напротивъ, казаки и киргизы, бывшіе въ моментъ сильнѣйшаго удара 28 мая на большихъ высотахъ, какъ въ Заилійскомъ Алатау, такъ въ Терской и Кунгей-Алатау, въ Александровскомъ хребтѣ и пр., всѣ единогласно сообщаютъ, что не только не замѣчали никакого колебанія почвы, но даже большинство не слышало никакого подземнаго гула, такъ что и не подозрѣвали катастрофы въ г. Вѣрномъ до тѣхъ поръ, пока не спустились. Какъ въ ущельѣ Буама, такъ и южнѣе сотрясеніе и гулъ отчетливѣе всего замѣчались въ пониженныхъ частяхъ хребтовъ, примѣрно отъ Буама по долины Качкара и пер. Кызартъ, или по ущелью Джуванъ-арыкъ, и пер. Долонъ, Нарынъ; южнѣе къ сожалѣнію нѣтъ никакихъ извѣстій, кромѣ Кашгара, но по аналогіи съ сѣвѣрною половиною, можно думать, что и тамъ проявленіе землетрясенія обусловилось тѣмъ же пониженіемъ горъ.

Этимъ исчерпываются наши данныя о распространеніи землетрясенія 28 мая во всѣ стороны отъ Вѣрнаго. Какъ они ни бѣдны, тѣмъ не менѣе даютъ довольно опредѣленные указанія о крайнихъ предѣлахъ области сотрясенія, именно: на сѣверѣ г. Сергіополь, на югѣ г. Кашгаръ, на западѣ г. Ташкентъ, на востокѣ г. Урумчи, а еще вѣрнѣе г. Манасъ.

Въ заключеніе о разрушительныхъ слѣдахъ, оставленныхъ землетрясеніемъ 28 мая въ различныхъ населенныхъ пунктахъ Семирѣченской области, не безынтересно приложить таблицу, въ которой показано число всѣхъ домовъ, разрушенныхъ или поврежденныхъ въ различныхъ пунктахъ бывшимъ землетрясеніемъ.

Таблица эта заимствована мною изъ „Обзора Семирѣченской области за 1887 г.“, составляющаго приложеніе къ Всеподданнѣйшему отчету военнаго губернатора. (См. таблицу стр. 69).

Впрочемъ, въ настоящее время, благодаря щедрымъ пожертвованіямъ въ пользу пострадавшихъ (отъ казны около 400,000 р. с., отъ частныхъ сборовъ въ Россіи около 550,000 р. с.; всего по 20-е февраля 1888 г. израсходовано пожертвованныхъ суммъ около 1.000,000 р. с.), не только окрестныя селенія, но и г. Вѣрный возстановлены. Къ 20-му февраля 1888 г. въ г. Вѣрномъ и ст. Алматинской было уже 2,639 зданій, тогда какъ до землетрясенія 28-го мая было только 2,569 зданій <sup>1)</sup>.

---

<sup>1)</sup> Туркестанскія Вѣдомости № 19-й, мая 17-го 1888 г.

	Число душъ обоего пола	Количество домовъ до землетрясенія	Число разрушен- ныхъ и сильно поврежден- ныхъ камен- ныхъ домовъ	Цифра убытковъ въ рубляхъ	
				въ недвижимости	въ движимости
Г. Вѣрный . . . . .	21000	1799	1798	1,136,889	476400
Ст. Б. Алматинская съ высылкомъ М. Алматинскимъ . . . . .	6491	972	347	331930	26225
Выс. Любовный . . . . .	1293	232	25	25792	8135
Сел. Казанско-Богородское . . . .	959	120	118	21571	387
Ст. Софійская . . . . .	3568	576	265	10867	298
Выс. Надеждинскій . . . . .	2239	313	52	800	60
Сел. Михайловское . . . . .	1352	487	55	331	—
„ Маловодное . . . . .	242	70	15	331	—
„ Зайцевское . . . . .	1393	332	46	637	—
„ Карасуйское . . . . .	21	16	15	897	—
„ Кутентайское . . . . .	102	18	18	375	—
Выс. Илійскій . . . . .	275	73	15	1313	—
Сел. Сазановское . . . . .	1111	137	22	3495	—
„ Уйталь . . . . .	178	27	1	290	—
Итого . . . . .	40394	5172	2792	1535518	511505

### ГЛАВА III.

Разрушительныя послѣдствія землетрясенія 28 мая 1887 г. въ горахъ, преимущественно на сѣверномъ склонѣ Заилійскаго Алатау.

Выше уже замѣчено, что небольшія осыпи наблюдаются въ долинѣ Иссыка у старой поперечной морены на порфировыхъ склонахъ, также небольшіе глинистые оползни въ долинѣ р. Талгаръ, при выходѣ ея изъ горъ; но собственно болѣе крупныя и непрерывныя разрушенія на сѣверномъ склонѣ Заилійскаго Алатау начинаются съ долины Бель-булакъ и Котуръ-булакъ, тянутся почти непрерывной полосой къ западу до поперечной долины Аксая и даже Каскелена; откуда далѣе къ западу онѣ быстро уменьшаются въ числѣ и величинѣ, а у Узунъ-агача совершенно исчезаютъ, такъ что по прямому разстоянію отъ долины Иссыка до долины Узунъ-агача они тянутся почти на 100 верстѣ, но если не считать мелкихъ рѣдкихъ на окраинахъ, т.-е. между Иссыкомъ и Бель-булакомъ на востокъ и между Узунъ-агачемъ и Аксаемъ на западѣ, то собственно наибольшіе и непрерывныя слѣды разрушенія находятся между Котуръ-булакомъ и Аксаемъ включительно, т.-е. на протяженіи 35 верстѣ вдоль сѣвернаго склона Заилійскаго Алатау. Въ поперечномъ направленіи они занимаютъ меньшее пространство; начинаясь у самаго сѣвернаго подножія хребта, т.-е. на высотѣ 3000 — 4000 ф. они продолжаются почти по всѣмъ поперечнымъ долинамъ до высоты 8000 — 9000 ф., слѣдовательно заходятъ далеко выше нижняго конца древнихъ ледниковыхъ отложений; по прямому направленію поперечное протяженіе ихъ составляетъ разстояніе въ каждой долинѣ различное, смотря по геологическому строенію долинъ, но беря центральныя долины, напр., Аксай, Большую и Малую Алма-тинки, Прямую Щель и Котуръ-булакъ, оно равно въ среднемъ около 20 верстѣ, но собственно наиболѣе крупныя и почти сплошныя слѣды сосредоточиваются на средней высотѣ отъ 5000 до 6000 ф. и на разстояніи по долинамъ около 5 верстѣ. Такимъ образомъ, хотя вся площадь слѣдовъ разрушенія въ горахъ довольно значительная, именно около 2000 кв. вер., но наиболѣе интенсивныя слѣды разрушенія проявляются



на гораздо меньшей площади, равной 175 кв. вер. (35 вер. длины и 5 вер. ширины) На прилагаемой карточкѣ <sup>1)</sup> 10-ти верстнаго масштаба показаны красными пятнами приблизительно всѣ пункты разрушенія, а также площадь какъ всѣхъ, такъ и сильнѣйшихъ слѣдовъ разрушенія на сѣверномъ склонѣ Заилійскаго Алатау.

Разрушенія эти выражаются многочисленными трещинами, оползнями, обвалами и поверхностными сдвигами, причѣмъ они наблюдаются какъ въ породахъ рыхлыхъ: алювіальныхъ, дилювіальныхъ и элювіальныхъ наносахъ, такъ и въ породахъ твердыхъ, напр., кристаллическіе сланцы и даже въ массивныхъ гранитахъ и порфирахъ.

Сѣверный склонъ Заилійскаго Алатау въ предѣлахъ Семирѣчья представляетъ весьма живописную картину, хорошо знакомую мнѣ еще съ 1875 г.; хотя онъ также рѣзко воздымается надъ однообразною, ровною степью, разстилающеюся къ сѣверу отъ его подножія, какъ и въ другихъ хребтахъ Тянь-шаня, но онъ не поражаетъ дикостью и безжизненностью мрачныхъ скалъ, какъ это имѣетъ мѣсто въ большинствѣ склоновъ западнаго Тянь-шаня; напротивъ, несмотря на свое громадное расчлененіе, отроги и поперечныя долины его сглажены, спокойны и полны жизни. Въ нижнихъ частяхъ отроги покрыты роскошнѣйшими лугами, а долины заняты разнообразною кустарною и древесною растительностью; ярко зеленый покровъ первыхъ какъ бы перемежается съ темными полосами вторыхъ. Въ этой области нѣтъ ни мрачныхъ скалъ, ни дикихъ ущелій, она какъ бы раскрыта для человѣка, который дѣйствительно широко воспользовался ею: кочевники развели въ ней свои многочисленные стада различнаго скота, а осѣдлые — преимущественно русскіе — обширное пчеловодство. Словомъ, склонъ этотъ по своему характеру скорѣе напоминаетъ травянистые склоны сѣвернаго Кавказа, чѣмъ Тянь-шаня. Эта жизненность склона придаетъ еще болѣе рѣзкости тому контрасту съ душною, полу-пустынною степью, который уже безъ того ярко выражается характеромъ рельефа, не имѣющаго переходныхъ формъ отъ равнины къ лабиринту горъ. Въ верхней своей части луга, кустарники и лиственные деревья долинъ окаймляются широко, издали кажущееся почти черною, полосой хвойнаго лѣса (отъ 5000 до 9000 ф.), за которымъ уже выступаетъ зубчатый, чрезвычайно расчлененный гребень хребта съ острыми, часто причудливой формы, совершенно обнаженными скалистыми вершинами, воздымающимися до 15000 ф. или обособленно, или группами, на ярко-бѣломъ фонѣ постоянного свѣга, питающаго многочисленные, хотя и небольшіе ледники.

Такъ какъ землетрясеніе 28 мая оставило свои разрушительные слѣды главнымъ образомъ на среднихъ высотахъ отъ 3000 до 8000 ф., то очевидно, на зеленомъ

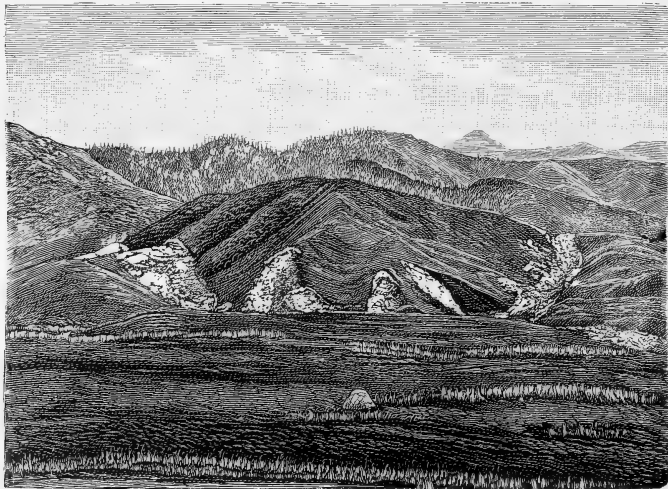
---

<sup>1)</sup> Основа этой карты взята съ 10-ти-верстной карты Сибирской съемки, одинъ экземпляръ которой любезно предоставленъ былъ въ мое распоряженіе степнымъ генералъ-губернаторомъ Г. А. Колпаковскимъ. Нѣкоторые дополненія и измѣненія на ней сдѣланы согласно съемки топографическаго экспедиціи П. А. Рафалова. Слѣды же разрушенія нанесены по съемкамъ членовъ экспедиціи Хлудова и Стрижевскаго, а также по моимъ личнымъ наблюденіямъ.

покровѣ растительности, голыя каменистыя или глинистыя площади, обнажившіяся вслѣдствіе оползней, обваловъ и сдвиговъ, выступаютъ чрезвычайно рѣзко. Еще издали, верста за 50 и болѣе, подѣзжая къ Вѣрному съ сѣвера, я былъ пораженъ множествомъ желтоватыхъ пятенъ по склонамъ поперечныхъ долинъ Запѣйскаго Алатау, который, благодаря имъ, еще болѣе сталъ оправдывать свое старинное названіе Алатау— что значитъ пестрый, пѣгій.

Прилагаемый рисунокъ (фиг. 24), сдѣланный съ одной изъ нашихъ фотографій, до нѣкоторой степени представляетъ характеръ склона, измѣненнаго оползнями и обвалами. По мѣрѣ приближенія къ подножію хребта на меридіанѣ Вѣрнаго, число и величина этихъ пятенъ постепенно возрастали и свидѣтельствовали во очію объ ужасной силѣ катастрофы.

Фиг. 24.



Съ перваго взгляда всѣ эти слѣды разрушенія кажутся однородными, различаясь только размѣрами, но внимательное изслѣдованіе приводитъ къ довольно опредѣленному расчлененію этихъ элементовъ разрушенія.

Выше уже указано, что первые оползни, встрѣченные въ долинѣ Талгара, представляютъ самыя обыкновенныя формы поверхностнаго сползанія рыхлыхъ породъ на крутыхъ склонахъ, могущихъ произойти, напр., подъ вліяніемъ ливня. Совершенно такіе же оползни попадались въ нижней части долины Бель-булага, начиная съ высоты 4000 ф., сначала небольшія и преимущественно на правомъ восточномъ склонѣ, но

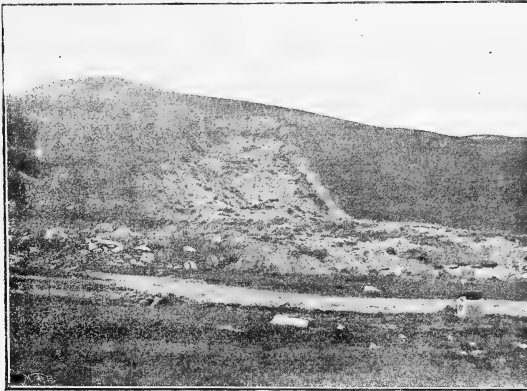
затѣмъ большей величины и на обоихъ склонахъ. Склоны долины Бель-булака состоятъ изъ глинисто-сланцевыхъ сланцевъ, сильно изломанныхъ и весьма разрушеннаго слюдяного (биотитоваго) гранита сѣраго цвѣта, причеиъ сланцы, залегающіе главнымъ образомъ, въ средней части долины, являются какъ бы защеиленными между гранитами, которые развиты въ низовьяхъ ущелья и въ верховьяхъ его. Эти основныя породы прикрыты слоеиъ песчано-глинистаго наноса, мѣстами чистаго сѣровато-желтаго цвѣта, напоминающаго лёссъ; мѣстами же содержащаго небольшіе (до 10 сант. въ диаметръ) валуны кристаллическихъ породъ; вообще же въ нижнихъ частяхъ, прилегающихъ къ основной породѣ, онъ болѣе глинистый и мѣстами надъ гранитами переходитъ въ каолиноподобную пластическую глину, а потому можетъ считаться элювиеиъ, тогда какъ верхнія части его болѣе песчаны, содержатъ много валуновъ и принадлежатъ къ рѣчнымъ отложениямъ, представляющимъ, по всей вѣроятности, переиытый ледниковый наносъ. Наносъ этотъ прикрываетъ основныя породы сплошнымъ слоеиъ неравноиѣрной толщины; граниты и сланцы выступаютъ изъ-подъ него отдѣльными небольшими, полу-разрушенными скалами, между которыми толщина наноса значительно возрастаетъ (до 20 м.), тогда какъ вблизи ихъ она не превосходитъ  $\frac{1}{2}$  метра. Въ этихъ-то слабыхъ породахъ склоновъ подземный ударъ произвелъ небольшія трещины, простирающіяся согласно съ простираніеиъ склона и съ паденіеиъ до  $40^\circ$ , то N05h, то SW5h, длина ихъ отъ 5 до 60 метровъ, ширина отъ 30 до 60 сант.; глубина ихъ также различна въ зависимости отъ размѣровъ ихъ и отъ толщины наноса, но вообще она не превосходитъ 1—2 метровъ, хотя нужно замѣтить, что большинство ихъ было уже засыпано сверху во время нашихъ наблюденій. Размѣры и количество трещинъ увеличиваются къ верховью долины; сначала появляются только отдѣльныя и небольшія, а на высотѣ 5000 фут. и болѣе, часто весь склонъ сверху до низу изорванъ болѣе или менѣе параллельными трещинами. Развитие трещинъ, разрыхлившихъ и безъ того слабые склоны, повело за собой оползни, которые, главнымъ образомъ, появились, во 1-хъ, въ мѣстахъ наибольшихъ трещинъ, во 2-хъ, на болѣе крутыхъ частяхъ склоновъ, и въ 3-хъ, въ наиболѣе мощномъ наносѣ. Ближайшая причина появления оползней заключается въ томъ, что обильные осадки, предшествовавшіе, какъ увидимъ ниже, землетрясенію 28 мая, легко проникая верхній рыхлый, водонепроницаемый слой наноса, мѣстами задерживались нижнимъ слоеиъ глинистаго, трудно проникаемаго элювія и, скатываясь по немъ внизъ, подмывали верхній слой. Процессъ этотъ, очевидно, не могъ быть равноиѣрнымъ даже на одномъ и томъ же склонѣ, такъ какъ толщина элювія и его петрографическія качества рѣзко измѣняются на незначительныхъ разстояніяхъ не только по длинѣ склоновъ, но даже по высотѣ ихъ. Вслѣдствіе неравноиѣрности процесса подземнаго размыва, несомнѣнно, что въ моментъ удара различныя части склоновъ были неодинаково подготовлены къ разрушенію. Гдѣ процессъ этотъ дѣйствовалъ сильнѣе, тамъ образовалось много трещинъ въ верхнемъ слоеѣ, который, потерявъ связь, сталъ сползать внизъ по скользкой поверхности нижняго глинистаго слоя, вѣроятно сглаженнаго уже

раньше скатывавшегося по нему водою. Если склоны по всей высоте одинаково были разрыхлены, то все отдельные части между параллельными трещинами пришли в движение; верхние, надвигаясь на нижние, увеличивали общую скорость сползания, которая местами, повидимому, была настолько значительной, что продукты оползней отложились далеко от подошвы склона; в таких случаях оползень занимает всю высоту склона, иногда до 100 метров. В тех же местах, где склоны были неравномерно подготовлены, там и оползни не занимают всю высоту его, а появляются только в какой нибудь части его; напр., если водонепроницаемый глинистый слой развит только в нижней части склона, там и оползни появились только в нижней части; если же он развит в верхней, то нередко оползня совсем не образовалась, а вместо его наблюдаются только различной величины оседания, ссадки или поверхностные сдвиги отдельных кусков между трещинами, причем нередко одни из них осели больше, другие меньше и тогда гладкая однообразная поверхность травянистого склона превратилась в неправильно бугорчатую и ребристую; если же величина подобных сдвигов постепенно и больше или меньше равномерно увеличивается книзу, к подошве склона, то последний получает лестницеобразный вид. Местами, но не на Бель-булаке, а как увидим ниже, соединяются те и другие на одном и том же склоне, т.-е. сдвиги верхней части склона продолжаются оползнями в нижней части его.

В долине Бель-булака мною насчитано всего 12 сплошных оползней и до 10 мелких частных, не протягивающихся по всей высоте склона. Они распределяются на обоих склонах долины в зависимости от вышеуказанных условий, но большая часть приходится на восточный склон. Наибольшего развития трещины и оползни достигают в той части долины (на высоте около 5500 ф.), которая находится против перевала, ведущего к западу в долину Котурь-булака, где они изменяют свой характер; выше по долине они снова постепенно уменьшаются, как и книзу отсюда. На левом или западном склоне долины Бель-булака при подъеме на перевал, а также на правом склоне левого притока Бель-булака, по которому проходит дорога на перевал, находится шесть больших оползней; из них один нижний принадлежит Бель-булаку, а остальные пять его левой боковой долине. Все они отличаются довольно резко от предыдущих оползней тем, что произошли по вертикальным трещинам. Вершины их представляют чашеобразное углубление, ограниченное совершенно отвесными краями со всех сторон, кроме одной нижней, через которую двигалась обрывающаяся песчано-глинистая масса в вид потока, образовавшего у подошвы склона на ровной поверхности долины Бель-булака нечто в родъ грязевой дельты. Обрывистые, совершенно вертикальные края имеют наибольшую высоту в средней части вершины оползня—до 10 м., начинающагося немного ниже гребня, а книзу высота их постепенно уменьшается до уничтожения, хотя вертикальность сохраняется, так что в плане они представляют полулуние. В том месте, где вертикальные края исчезают, густая глинисто-песчаная масса, вышедшая из чаши, при-

брѣтаетъ форму типичнаго потока съ рѣзко обозначенными границами съ боковъ. Потокъ возвышается надъ поверхностью склона метра на два вверху и на три внизу, гдѣ онъ переходитъ въ грязевую дельту. На прилагаемомъ рисункѣ (фиг. 25) изображенъ Бель-булакскій оползень съ чашеобразною вершиною, ограниченною отвѣсными краями до 10 м. высотой. Грязевая дельта, спускаясь вѣерообразно внизъ, запрудила и перемѣстила рѣчку Бель-булакъ къ востоку; дельта возвышается надъ дномъ долины на  $1\frac{1}{2}$ —2 метра и занимаетъ площадь около 6000 кв. м. (около 200 м. длины и 30 ширины). Совершенно такой же характеръ имѣютъ и всѣ остальные пять оползней на склонахъ боковой долины близъ перевала, только съ тою разницею, что грязевые потоки, вылившиеся изъ кратерообразныхъ вершинъ, благодаря суженности долины, не расплылись въ дельтовидныя площади, а слились между собою и образовали одинъ общій потокъ грязи, который спустился внизъ по долинѣ почти до середины ея, но не дошелъ до главной долины Бель-булака; размѣры его таковы: толщина 4 м., длина 500 м. и ширина 100 м., слѣдовательно, въ немъ заключается около 200,000 куб. метр. глинисто-песчанаго наноса, а вмѣстѣ съ предыдущими 212,000 куб. м. породы.

Фиг. 25.



Описанные оползни, какъ прекрасно видно и на предыдущемъ рисункѣ, ясно указываютъ на сильный вертикальный ударъ снизу, который, подбросивъ вверхъ болѣе слабыя части склоновъ, образовалъ въ нихъ чашеобразныя углубленія, заполненныя массою рыхлыхъ породъ; послѣднія, смѣшавшись съ нижними водоносными слоями, получили чашеобразное состояніе и вслѣдствіе тяжести стали выливаться внизъ по склону въ видѣ потока, замаскировавъ вмѣстѣ съ тѣмъ нижніе края чаши или кратера. Но

очевидно воды было далеко недостаточно, чтобы совершенно разжидить эту грязь; рѣзкія границы потоковъ, а также дельтовидныхъ расширеній ихъ доказываютъ, что выливавшаяся грязь была весьма густая и не могла стекать тонкимъ слоемъ, что непремѣнно было бы при меньшей густотѣ ея; наконецъ, на поверхности потоковъ сохранились еще ясные валики отъ наплывовъ и даже трещины, такъ что поверхность ихъ напоминаетъ свѣже вспаханное поле; это сходство увеличивается еще болѣе темно-сѣрымъ, почти чернымъ цвѣтомъ грязи, зависящимъ очевидно отъ самаго верхняго черноземнаго слоя, который находится повсюду на травянистыхъ отрогахъ Заилійскаго Алатау, достигая мѣстами 1 ф. толщины. Чѣмъ меньше оползень, тѣмъ окраска его въ черншй цвѣтъ интенсивнѣе, и наоборотъ. Всѣ такіе грязные потоки, излившіеся преимущественно изъ оползней съ чашеобразною вершиною, мѣстные жители весьма мѣтко назвали „оплывинами“; названіе это какъ нельзя лучше характеризуетъ самое явленіе, и потому при дальнѣйшемъ описаніи я буду пользоваться имъ.

И такъ, уже наблюденія въ долинѣ Бель-булака, самой крайней западной съ слѣдами разрушенія, показали намъ, что трещины и оползни на рыхлыхъ склонахъ, во 1-хъ, увеличиваются только до извѣстной высоты (около 5500), откуда кверху снова уменьшаются, а во 2-хъ, что въ районѣ наиболѣе интенсивнаго разрушенія трещины на склонахъ изъ наклонныхъ и пологихъ (до 40°) переходятъ въ вертикальныя, а простые оползни въ оползни съ чашеобразными вершинами и оплывинами; въ 3-хъ, наконецъ, масса сдвинутыхъ породъ во всѣхъ оползняхъ долины Бель-булака около 500.000 куб. метр.,—212.000 приходится только на 6 центральныхъ оползней.

Но разрушенія долины Бель-булака сравнительно ничтожны съ тѣми громадными оползнями и сдвигами, которые появляются въ слѣдующихъ къ западу долинахъ: Котурь-булакъ и Прямая Щель, принадлежащихъ также, какъ и Бель-булакъ, къ системѣ р. Малой Алматинки. Обширныя долины эти значительно суживаются только въ области сланцевъ, при выходѣ изъ горъ на разстояніи около 4 верстъ, да и тутъ склоны ихъ сглажены и травянисты; выше суженія, т.-е. при переходѣ въ область древняго сильно разрушеннаго и даже рѣдко обнажающагося біотитоваго гранита, они значительно расширяются, и получаютъ множество притоковъ, система которыхъ составляетъ область питанія названныхъ рѣкъ; совмѣстная размывающая дѣятельность ихъ до того сгладила всю мѣстность, что она скорѣе представляется крупно-волнистою и холмистою степью, съ великолѣпными лугами, нежели горною страной; не только главныя долины, но даже мелкія, боковыя утратили уже формы ущелій или овраговъ и превратились въ широкія открытыя балки, въ которыхъ повсюду находятся прекрасныя сѣнокосы. При такой сглаженности нѣкогда дикой гранитной области, очевидно поверхность ея должна быть покрыта мощными рыхлыми наносами, которые дѣйствительно развиты здѣсь несравненно въ болѣе степени, нежели на Бель-булакѣ; они достигаютъ громадной мощности (до 200 м.) и прикрываютъ собою всѣ основныя породы сплошь, особенно на высотѣ отъ 3 до 6000 ф. Только выше 6000 ф. начи-

наютъ появляться отдѣльныя скалы гранита, быстро увеличивающіяся кверху и переходящія за пологою хвойныхъ лѣсовъ въ голыя и совершенно обнаженныя. Такъ какъ съ одной стороны Бель-булакскіе и Талгарскіе отроги, менѣе размытые и болѣе скалистые, ограничиваютъ области описываемыхъ долинъ съ востока, а съ другой еще болѣе массивныя и высокіе отроги Малой Алматинки ограничиваютъ ее съ запада, съ юга же воздымается снѣжный гребень главнаго хребта, то вся область питанія Котурь-булака и Прямой Щели представляетъ какъ бы обширную котловину въ видѣ плоской полуворонки, открытой къ сѣверу, т.-е. къ низовьямъ долинъ.

Что касается характера наносовъ, то они принадлежатъ главнымъ образомъ къ тремъ типамъ; одни изъ нихъ состоятъ изъ разнообразныхъ валуновъ, различной величины и формы, перемежающихся съ мелкими гальками, слоями песку и песчанистой темно-сѣраго цвѣта глиной; отложенія эти не только окаймляютъ долины, но съ неменьшею мощностью развиты и въ между-долинныхъ пространствахъ, на гребнѣ плоскихъ сглаженныхъ переваловъ; это типичныя валунныя древне-ледниковыя отложенія, произведенныя древними ледниками, нѣкогда спускавшимися, какъ извѣстно, до высоты 3000 — 4000 ф. изъ ледниковаго Чилико-Кебинскаго центра, гдѣ и въ настоящее время находятся довольно мощные остатки ихъ, доходящіе уже только до 10,000 ф. высоты. Древніе ледники несомнѣнно прежде всего способствовали сглаживанію описываемой области, съ одной стороны шлифованіемъ и выпаживаніемъ, а съ другой — накопленіемъ моренныхъ отложеній. Другого рода наносъ представляетъ слоистыя, песчано-глинистыя отложенія, заключающія мѣстами слои окатаннаго гравія, и только изрѣдка небольшіе валуны — это преимущественно рѣчные осадки древнихъ потоковъ; они окаймляютъ, въ видѣ плоскихъ сглаженныхъ террасъ до 50 метровъ высотой, почти всѣ сколько-нибудь значительныя долины и примыкаютъ къ современнымъ рѣчнымъ отложеніямъ, отличающимся большою тонкостью зерна и преобладаніемъ глинистыхъ осадковъ. Кромѣ этихъ двухъ родовъ наноса мѣстами встрѣчаются, налегая прямо на разрушенныя граниты, свѣтло-сѣрыя, издали кажущіяся даже бѣлыми, песчанистыя глины, переходящія въ чистыя желтоватыя, отчасти пластическія глины безъ всякихъ признаковъ слоистости; глины эти мало или даже непроницаемы для воды и мощность ихъ гораздо меньше предыдущихъ наносовъ, не превышая 10 метровъ; они обнажаются преимущественно у вершины склоновъ и представляютъ ничто иное, какъ элювиальныя образованія, происшедшія влѣдствіе вывѣтриванія гранитовъ и отчасти вѣроятно смтыга, но мѣстами оставшіяся на мѣстѣ своего первоначальнаго залеганія.

Кромѣ ледниковыхъ, элювиальныхъ, древнихъ и новыхъ рѣчныхъ отложеній въ среднихъ и нижнихъ частяхъ системъ Котурь-булака и Прямой Щели, находится еще желтовато-сѣрый типическій лѣсъ, хотя главное развитіе онъ получаетъ не здѣсь, а гораздо ниже при выходѣ этихъ рѣкъ изъ горъ.

Всѣ описываемые наносы въ области оползней покрыты тонкимъ слоемъ (до  $\frac{1}{2}$

метра толщиной), довольно тучного чернозема, составляющего плодородную почву, обуславливающую здѣсь появленіе роскошныхъ луговъ.

Поднявшись на вершину плоскаго перевала (около 5,700 ф.), ведущаго изъ долины Бель-булакъ въ долину Котурь-булакъ, сразу открывается поразительная картина разрушеній въ наносахъ по склонамъ всѣхъ долинъ и долинокъ системъ Котурь-булака и Прямой Щели до самаго высокаго отрога, отдѣляющаго системы эти отъ верховьевъ Малой Алматинки. Многочисленные сдвиги, желтовато-сѣрые оползни, обрывы и обвалы дѣлаютъ зеленые травянистые склоны совершенно пестрыми, а громадныя темно-сѣрыя оплывины съ изборозженною поверхностью, точно потоки лавы, придаютъ дикій, пустынный видъ столь недавно цвѣтущимъ долинамъ.

Уже при спускѣ съ перевала въ логѣ Березовомъ налѣво отъ дороги находятся

Фиг. 26.



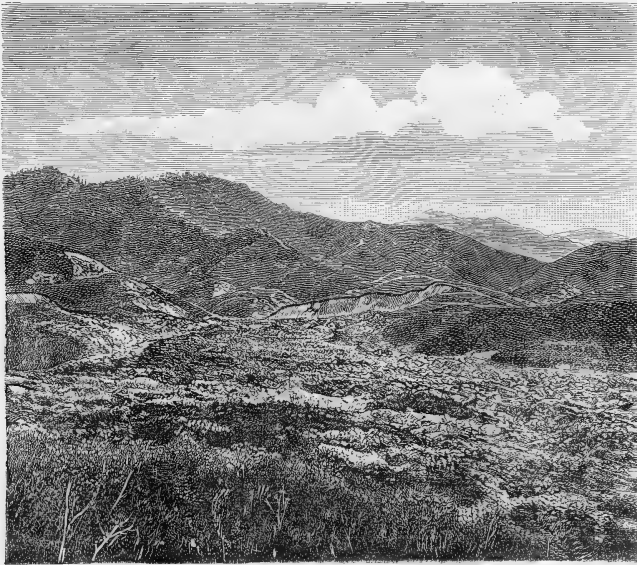
типичные сдвиги по двумъ параллельнымъ и почти вертикальнымъ трещинамъ, шириною около 2 метровъ и простирающихся согласно склону. Сдвинутая часть склона опустилась на 10 м. и запрудила небольшой ручей, вслѣдствіе чего выше сдвига образовалось небольшое озеро (около 100 саж. длиною и 15 саж. шириною). Прилагаемый рисунокъ (фиг. 26) даетъ полное понятіе объ этомъ сдвигѣ. Всѣ сосѣдніе склоны по обѣимъ сторонамъ до того изорваны трещинами, что только съ трудомъ можно пробираться вверхъ по нимъ.

Въ слѣдующей къ югу (высота около 5,400) долинкѣ находятся уже не только сдвиги, но и оползни съ чашеобразными вершинами, совершенно подобные вышеописанному Бель-булакскому, но гораздо большихъ размѣровъ; высота верхняго обрыва около 20—30 метровъ, а всего оползня до 50 метр.; ширина же ихъ до 100—200 м.



вдоль склона. Въ лоѣ Березовомъ и сосѣднемъ съ нимъ къ югу всего насчитано до 20 оползней, изъ которыхъ болѣе половины слились въ одну оплывину, заполнившую долину на разстояніи около 700 метровъ ниже оползней; ширина оплывины отъ 50 до 100 м., (средняя около 70 метр.), а толщина до 8 м., слѣдовательно она заключаетъ болѣе 50,000 куб. метровъ наносовъ, а если прибавить къ этому массу остальныхъ оползней, то всего въ этихъ двухъ долинахъ сдвинуто болѣе 800,000 куб. м. породы. Но эти разрушенія ничтожны сравнительно съ разрушеніями въ слѣдующихъ къ югу двухъ вѣтвяхъ Котурь-булака. Отдѣльные оползни въ нихъ даже сосчитать трудно;

Фиг. 27.



они попадаютъ буквально на каждомъ шагѣ, а мѣстами, сливаясь по нѣскольку, представляютъ какъ бы одинъ сплошной оползень, протягивающійся по длинѣ склона на 200 — 300 метровъ; наибольшій изъ нихъ, по крайней мѣрѣ по высотѣ обрыва чашеобразной вершины находится въ южномъ рукавѣ первой долины на высотѣ 5500 ф.; высота отвѣсныхъ стѣнъ въ немъ достигаетъ 30 метровъ; это одинъ изъ большихъ сбросовъ, оканчивающихся обширною бугристою оплывиною; прилагаемый рисунокъ (фиг. 27) даетъ нѣкоторое понятіе о грандіозности этого обрыва въ мощныхъ нано-

сахъ; на заднемъ планѣ видны вертикальные обрывы вершины, а впереди поверхность оплывины, заворачивающей внизъ по долини. Какъ въ той, такъ и въ другой долини многочисленны оползни точно также измѣняютъ свой характеръ въ низовью и къ верховью долины отъ области оползней съ чашеобразными вершинами, свидѣтельствующими, какъ выше замѣчено, о сильныхъ вертикальныхъ ударахъ снизу; если судить по величинѣ оползней о силѣ удара, то нужно допустить, что въ верховьяхъ Котурь-булака онъ проявился гораздо сильнѣе, нежели на Бель-булакѣ. Въ обѣихъ долинахъ сползшія массы породы, очевидно такія же густо-жидкія или кашеобразныя какъ и на Бель-булакѣ, а можетъ быть, благодаря обильнымъ ручьямъ здѣсь, онѣ были нѣсколько жиже и, соединяясь въ главной долини въ одинъ общій потокъ, образовали двѣ значительныя оплывины темно-сѣраго цвѣта, длиною каждая около 2000 метр., не считая небольшихъ оплывинъ изъ боковыхъ овраговъ, которыя всѣ вмѣстѣ составляютъ тоже около 1000 м. длины (см. карту эпицентра); ширина ихъ отъ 30 до 200 м., а толщина отъ 5 до 20 м. При соединеніи описываемыхъ двухъ долинь, оплывины ихъ также соединились и дали одну общую оплывину, протянувшуюся внизъ по долини восточной вѣтви Котурь-булака почти до ея соединенія съ западною вѣтвью, т.-е. на разстояніе 1300 м., гдѣ ширина ея возрастаетъ до 300 м., а толщина до 30 м.; такимъ образомъ въ долини восточнаго Котурь-булака образовалась громадная сплошная оплывина, длиною 1300 м., шириною 300 м. и мощностью 30 м.; кверху она раздѣляется на два рукава, изъ которыхъ каждый длиною около 2000 м., болѣе 100 м. средней ширины и болѣе 10 м. мощностью; эти два рукава раздѣляются еще на множество мелкихъ рукавовъ, которые всѣ вмѣстѣ составляютъ оплывину около 1000 м. длиною и такой же толщины и ширины какъ въ главныхъ рукавахъ, такъ что сплошныя оплывины тянутся въ долини восточнаго Котурь-булака на разстояніи болѣе 3 верстъ. Масса породы, заключающейся въ нихъ, около 17,000,000 куб. метровъ.

Въ долини западнаго Котурь-булака число оползней съ чашеобразными вершинами гораздо больше, а потому и оплывины, образованныя ими, тоже значительно массивнѣе. Интересно, что въ верховьяхъ западнаго Котурь-булака на высотѣ 7000 ф. находятся только простые и сравнительно небольшіе оползни, а крупныя съ чашеобразными вершинами начинаются немного выше (на 600—700 ф.) соединенія съ восточнымъ Котурь-булакомъ, гдѣ они достигаютъ громадныхъ размѣровъ съ обрывами до 40 м. высотой; ниже того же соединенія метровъ на 1500, снова переходятъ въ простые оползни, которые еще болѣе увеличили и безъ того громадную оплывину, протянувшуюся на 3700 м. по главной долини Котурь-булака, ниже соединенія восточнаго и западнаго рукавовъ ея, а такъ какъ она началась въ западномъ рукавѣ за 700 м. до соединенія съ восточнымъ, то общія длина ея около  $4\frac{1}{2}$  верстъ или 4500 м., при ширинѣ болѣе 300 м. и толщинѣ до 40 м.; слѣдовательно, по объему она представляетъ массу около 5,400,000 куб. метровъ; если къ этому прибавить еще около 2,000,000 куб. м. сдвинутыхъ во всѣхъ оползняхъ въ верховьяхъ западнаго

Котурь-булака, то общая масса получается въ 56,000,000 куб. м. передвинутыхъ породъ въ долину западнаго и главнаго Котурь-булака. Слѣдовательно, во всей системѣ Котурь-булака сброшено и передвинуто около 74,000,000 куб. м. наносовъ.

Еще болѣе грандіозную картину представляютъ оползни и оплывины въ системѣ сосѣдней долины—Прямой Щели. Оползни и оплывины начинаются въ ней южнѣе и выше чѣмъ въ системѣ Котурь-булака, а именно на высотѣ болѣе 6000 ф., но оползни съ чашеобразной обрывистой вершиной (см. фиг. 30) появляются только ниже 6000 ф. и тянутся на большомъ разстояніи по длинѣ долины, а именно верстахъ на 4-хъ, всѣ же оползни

Фиг. 28.



и сплошная оплывина идутъ почти непрерывно на разстояніи болѣе 10 вер. Главная оплывина занимаетъ почти всю долину Прямую Щель со всѣми ея верхними рукавами; она только двѣ версты не доходитъ до подножія Запайскаго Алатау, т.-е. открытой степи, и остановилась только въ 4-хъ верстахъ отъ Малой Алматинской станицы, тогда какъ главная Котурь-булакская оплывина не дошла болѣе 5 верстъ даже до подошвы горъ. Отдѣльные простые оползни въ Прямой Щели непрерывно тянутся до выхода ея изъ горъ, т.-е. находятся только въ 2-хъ верстахъ отъ Алматинскихъ станицъ, на высотѣ около 3000 ф. Громадная оплывина Прямой Щели (фиг. 28) въ нижней части своего

протяженія представляет одинъ непрерывный мощный потокъ сѣрой грязи, смѣшанной съ валунами и стволами деревьевъ; но на высотѣ около 5000 ф., гдѣ главная долина раздѣляется также какъ и Котурь-булакъ на двѣ вѣтви или рукава, она также раздѣляется на два потока, которые мы будемъ называть восточнымъ и западнымъ; каждый изъ послѣднихъ въ свою очередь раздѣляется еще на нѣсколько второстепенныхъ, болѣе мелкихъ, которые нѣтъ надобности перечислять отдѣльно, за исключеніемъ только одного лѣваго рукава въ западной вѣтви. Оплывина восточной вѣтви (см. карту эпицентра) имѣетъ около 2700 м. длины, 150 м. ширины и около 45 м. толщины, слѣдовательно, заключаетъ въ себѣ около 18,000,000 куб. метр. породы, а со всѣми боковыми мелкими оплывинами и оползнями до 20,000,000 куб. м.; оплывина западной вѣтви почти такихъ же размѣровъ, какъ и восточная, т.-е. тоже около 20,000,000 куб. м., но она имѣетъ еще лѣвый боковой притокъ въ 1000 м. длины, 100 ширины и 20 толщины, т.-е. 2,000,000 к. м., слѣдовательно, она составляетъ массу въ 22,000,000 куб. м. Длина главной оплывины отъ соединенія восточной и западной вѣтвей до нижняго конца ея около 7000 метровъ, ширина ея различна—отъ 100 м. до 500 м., а толщина отъ 30 м. до 60 и даже въ немногихъ мѣстахъ, въ самомъ началѣ доходитъ до 70 м., если принять за среднюю ширину только 300, а за толщину 40 м., что меньше дѣйствительныхъ, то и тогда она заключаетъ громадную массу сдвинутыхъ породъ, равную почти 84,000,000 куб. м., а вмѣстѣ съ вышеупомянутыми рукавами 126,000,000 куб. м., не считая мелкихъ оползней, залегающихъ ниже конца оплывины.

Къ западу отъ Прямой Щели, приблизительно на тѣхъ же высотахъ, находятся еще оползни и оплывины въ вершинѣ Широкаго лога и Онучкиной Щели, но они далеко уступаютъ по величинѣ предыдущимъ и развиты сравнительно мало. Въ Широкомъ логѣ оплывина около 2000 м. длиною, 80 м. шириною и 10 толщиною, а въ Онучкиной Щели находятся только оползни безъ сплошныхъ оплывинъ. Масса всѣхъ сдвинутыхъ наносовъ въ обѣихъ долинахъ не превышаетъ 1,500,000 куб. мет.

И такъ, вся масса сдвинутыхъ породъ въ системѣ Котурь-булака и Прямой Щели составляетъ болѣе 200,000,000 куб. мет. (202,300,000).

Условія происхожденія описанныхъ оползней подъ влияніемъ основной причины—подземнаго удара, очевидно тѣ же, что и на Бель-булакѣ, но разница заключается, во-1-хъ, въ большей силѣ удара, а во-2-хъ, въ большей мощности рыхлыхъ наносовъ и большемъ обиліи влаги, что, съ одной стороны, способствовало къ образованію громадныхъ оползней, а съ другой—къ образованію массивныхъ оплывинъ.

Тѣ немногіе очевидцы, болѣею частью простые казаки, которые случайно были въ описанныхъ долинахъ въ моментѣ катастрофы, свидѣтельствуютъ, что всѣ большіе оползни и обрывы произошли одновременно, сразу, какъ бы отъ одного общаго удара, за исключеніемъ только окраинныхъ, т.-е. простыхъ оползней, изъ которыхъ многіе стали сползать уже „нѣсколько времени спустя“; при этомъ, въ средней полосѣ, т.-е. въ

области оползней съ чашеобразной вершиной „землю взрывало и большими кусками подбрасывало кверху“, а изъ нѣкоторыхъ трещинъ „вылетала жидкая грязь“, чего не было въ области простыхъ оползней, гдѣ „земля тихо валилась книзу“. Эти свидѣтельства, несмотря на свою краткость, довольно опредѣленно указываютъ на разницу характера и силы удара въ срединной и окраинныхъ полосахъ, что еще болѣе подтверждаетъ наше заключеніе о направленіи удара, основанное на разницѣ въ формахъ разрушенія. Точно также всѣ очевидцы сообщаютъ, что „оплывины сразу полѣзли изъ всѣхъ щелей“; по рассказамъ, въ началѣ, то есть въ моментъ образованія, онѣ текли стремительно, но затѣмъ очень медленно, такъ что наибольшія изъ нихъ въ сутки проходили не болѣе 150 саж.; движеніе ихъ, по однимъ сообщеніямъ, продолжалось нѣсколько дней (до 10), по другимъ же—только одинъ или два дня; очень можетъ быть, что различныя оплывины, во-1-хъ, имѣли различную скорость, а во-2-хъ, находились въ движеніи различное время. Благодаря медленности движенія большихъ оплывинъ, напр., въ Прямой Щели, многіе граждане могли спасти свое имущество, напр., мельникъ въ Прямой Щели успѣлъ убрать мельницу и счастливо пропустить оплывину; фактъ этотъ свидѣтельствуетъ, во-1-хъ, о медленности движенія, а во-2-хъ, о продолжительности его, такъ какъ мельница стояла немного выше нижняго конца оплывины Прямой Щели.

Вѣроятно послѣдующая скорость движенія оплывины зависѣла отъ консистенціи ея, которая у различныхъ оплывинъ очевидно была неодинакова, что видно уже изъ сравненія характера поверхностей ихъ; чѣмъ оплывина была жиже, тѣмъ при высыханіи и затвердѣніи получалась болѣе ровная поверхность, безъ большихъ наплывныхъ валиковъ или рубцовъ и безъ зіяющихъ трещинъ, которыя изборозждаютъ поверхность болѣе густыхъ оплывинъ, какъ увидимъ ниже, подчиняясь нѣкоторой правильности въ своемъ расположеніи. Высыханіе и затвердѣніе оплывинъ происходило весьма медленно; еще въ концѣ іюня, т.-е. черезъ мѣсяцъ послѣ образованія ихъ, многія были непроходимы, только къ концу іюля онѣ сдѣлались проѣздными, но все еще были мягкими и даже на проложенныхъ по нимъ тропинкахъ, т.-е. въ мѣстахъ болѣе уплотненныхъ, еще въ концѣ августа копыто лошади оставляло ясный слѣдъ.

Оплывины при своемъ надвиганіи со склоновъ въ долину мѣстами запрудили русла потоковъ, образовали временныя озера; послѣднія, прорываясь, способствовали разжиженію оплывинъ и, можетъ быть, увеличенію скорости движенія ихъ. Прорывъ этихъ озеръ, происходившій черезъ день, два или три, совершался мѣстами бурно; вода, обремененная глинистыми частицами, въ видѣ жидкой грязи, стремительно прорывалась внизъ и давала поводъ къ слухамъ о наводненіи, что такъ напугало вѣрнцевъ 29 мая и что было, какъ выше описано, причиною паники и безпорядковъ въ городѣ 30 мая.

Оплывины, покрывая дно долинъ во всю ширину, естественно должны были прикрыть и русла рѣкъ, которыя, если не запруживались во временныя озера, то проте-

кали под оплывинами, прокладывая себѣ новыя русла и, слѣдовательно, превращались временно въ подземные потоки. Рыхлый песчано-глинистый матеріалъ оплывинѣ очевидно не могъ долго сопротивляться подмывающему дѣйствию потока и, постепенно обрушаясь, раскрывалъ его снова; мѣстами же еще и до сихъ поръ сохранились покрывки надъ потоками въ видѣ земляныхъ мостовъ, напр., на оплывинѣ въ Прямой Щели, какъ представлено на слѣдующемъ рисункѣ (фиг. 29), гдѣ видна также и поверхность оплывины.

Рѣки, протекавшія до того спокойно среди травянистыхъ, совершенно плоскихъ береговъ, въ настоящее время въ оплывинѣ представляютъ бурные потоки мутно-грязной воды съ отвѣсными берегами изъ застывшей грязи, постоянно обваливающихся и взмѣ-

Фиг. 29.



няющихся; высота ихъ, равная мощности оплывины, достигаетъ мѣстами до 60 метр. и болѣе. При такой высотѣ отвѣсныхъ береговъ и при малой ширинѣ потоковъ, до 10—20 метровъ, долина ихъ является трещинообразнымъ ущельемъ, которое издали совершенно незамѣтно на поверхности оплывины или кажется одною изъ трещинъ на ней; только при ближайшемъ осмотрѣ можно отличить ее отъ другихъ трещинъ. На слѣдующемъ рисункѣ (фиг. 28) представлена часть одной изъ громадныхъ оплывинъ въ Прямой Щели, гдѣ видны многочисленные оползни съ чашеобразными вершинами, поверхность оплывины и между прочимъ сохранившіяся еще на ней небольшія озера или скорѣе лужи воды. На ней только съ трудомъ можно отличить узкое ущелье, на

днѣ котораго протекаетъ современная рѣка, среди отвѣсныхъ глинистыхъ береговъ. Эти новѣйшіе прорывы и образованіе новыхъ руселъ весьма поучительны въ разныхъ отношеніяхъ, во-1-хъ, потому, что они во-очію доказываютъ возможность формировавія узкихъ долинъ путемъ подземнаго подмыва, какъ это, по указанію Рихтгофена, а за нимъ и другихъ, часто случается при образованіи долинъ въ лёссовыхъ областяхъ, а также имѣеть мѣсто въ известковой области Карста и пр. Во-2-хъ, оплывина, возвышая на нѣкоторой части длины дно долины метровъ на 40—60, кромѣ того, что измѣняетъ характеръ самого потока, но придаетъ этой части долины совершенно своеобразную фizioномію и обуславливаетъ въ ней появленіе новыхъ оригинальныхъ террасъ; на концѣ оплывины, а иногда и въ началѣ рѣзко обозначаются поперечныя террасы во всю ширину долины и высотой, равною толщинѣ оплывины; такого же состава получаютъ двѣ продольныя террасы во всю длину оплывины; но онѣ вполне сформируются только тогда, когда трещинообразное ущелье новаго русла расширится, склоны его отъ выѣтриванія сдѣлаются пологѣе и само русло увеличится. Террасы эти, состоя изъ неслистаго глинисто-песчанаго матеріала съ валунами, съ стволами современныхъ деревьевъ и съ многочисленными раковинами наземныхъ и частью прѣсноводныхъ моллюсковъ, какъ-то: *Helix derbentina*, *Pupa muscorum* и *Planorbis*, съ костями современныхъ животныхъ, съ одной стороны напоминають лёссовыя террасы, а съ другой—ледниковыя, но ни къ тѣмъ, ни къ другимъ онѣ не принадлежатъ и для будущаго изслѣдователя онѣ представили бы почти неразрѣшимую загадку, равно какъ и самое измѣненіе формы долины, безъ знанія тѣхъ удивительныхъ послѣдствій, какія можетъ производить землетрясеніе. Въ данномъ случаѣ мы имѣемъ въ землетрясеніи новый агентъ, замѣтно вліяющій на измѣненіе чисто денудационныхъ формъ рельефа. Въ-3-хъ, оплывины производятъ въ долинахъ небольшія котловины, которыя легко принять за ложа бывшихъ озеръ; такъ, напр., при соединеніи восточнаго и западнаго Котурь-булака, оплывины ихъ не слились; оплывина восточнаго Котурь-булака не дошла около 300—400 м. до оплывины западнаго Котурь-булака, которая прошла западною стороною долины, не заполнивъ ее во всю ширину. Выше и ниже этого мѣста, оплывины, какъ въ главной долинѣ, такъ и въ рукавахъ совершенно заполнили долины во всю ширину. Такимъ образомъ, при соединеніи обихъ Котурь-булаковъ осталась часть долины въ ея прежнемъ цвѣтущемъ видѣ, незаполненная оплывиною; она представляетъ котловину, окруженную высокими берегами и отдѣленною оплывиною же отъ западнаго Котурь-булака. Объяснить происхожденіе этой котловины, отдѣленіе ея отъ главнаго потока уваломъ въ 60 м. высотой, представляется весьма затруднительнымъ или даже невозможнымъ, не зная описываемыхъ послѣдствій землетрясенія.

Ниже, при описаніи другихъ слѣдовъ разрушенія, мы увидимъ еще нѣсколько оригинальныхъ формъ, измѣняющихъ характеръ долинъ развитія. Въ-4-хъ, наконецъ, оплывины весьма поучительны по характеру поверхности. Выше нѣсколько разъ уже упоминалось, что верхняя поверхность оплывинъ изборождена трещинами и рубцами

отъ наплывовъ; указывалось также, что появленіе ихъ и отчетливость весьма неодинаковы у различныхъ оплывинъ; наиболѣе ясно они проявляются только на тѣхъ, которыя, повидимому, были болѣе густыми; въ жидкихъ же, расплывшихся тонкимъ слоемъ, они почти замаскированы и открыть ихъ весьма трудно.

Съ перваго взгляда не замѣчается почти никакой правильности въ расположеніи трещинъ и рубчиковъ или валиковъ, но при болѣе внимательномъ разсмотрѣніи ихъ вдоль всей оплывины вскорѣ обнаруживается, что трещины главнымъ образомъ развиты въ верхней части оплывины, т.-е. въ сборной области или области питанія, гдѣ онѣ простираются большею частью вдоль склона и всегда перпендикулярно длинѣ оплывины; будучи почти параллельными, они обуславливаютъ рядъ ступенчатыхъ мелкихъ сдвиговъ; въ небольшихъ оползняхъ, безъ оплывинъ, трещины эти образовали вышеупомяншіеся ступенчатые или лѣстнице-образные склоны; въ большихъ же они продолжаются до подошвы склона, въ самой оплывинѣ и, даже, постепенно уменьшаясь въ длину и ширину на нѣкоторое разстояніе отъ подошвы и затѣмъ исчезаютъ; ниже ихъ поверхность у нѣкоторыхъ оплывинъ дѣлается совершенно гладкою, а у нѣкоторыхъ съ боковъ появляются небольшія трещины, направляющіяся подъ различными углами къ склонамъ и имѣющія весьма небольшую длину, maximum до 5 метровъ, даже въ самыхъ большихъ оплывинахъ, напр., въ Котурь-булагѣ. Еще ниже, на поверхности оплывины, появляются рубцы или валики, дугообразно изогнутые и выпуклою стороною обращенные книзу, т.-е. въ сторону теченія оплывины; высота ихъ различна и достигаетъ до 10 м.; иногда они сопровождаются трещинами, особенно съ боковъ, но чаще безъ трещинъ. Когда въ составъ оплывины входятъ много валуновъ или стволовъ деревьевъ и она маскируется боковыми оползнями, то валики проявляются только отрывками и представляютъ скорѣе неправильныя возвышенія или бугорки, нежели валы; если при этомъ они разбиваются еще трещинами, то поверхность оплывины становится совершенно неровною, неправильно бугристою. Если же составъ оплывины однороденъ и поверхность ея не замаскирована боковыми оползнями, то дугообразные валики непрерывно тянутся во всю ширину оплывины и представляютъ какъ бы террасы, обращенныя круглымъ склономъ къ низовью, т.-е. въ сторону движенія оплывины. Въ узкихъ частяхъ долины, гдѣ оплывина какъ бы сдавливается, изогнутость валовъ настолько увеличивается, что крылья ихъ располагаются не поперегъ, а вдоль оплывины или по длинѣ; такъ какъ въ этихъ же мѣстахъ одни валики набѣгаютъ на другіе, то параллельное и поперечное расположеніе валиковъ утрачивается, и на поверхности оплывины, въ средней части, наблюдается, или общая вспученность или неправильная бугристость, по бокамъ же ея, выше вспученной средины, находятся обыкновенно по одному продольному залу различной длины, до 50 и даже до 100 м.; валы эти, ограничивая оплывину съ боковъ, возвышаются надъ срединною ея метровъ на 10—15 и обыкновенно не прилегаютъ къ склону долины, а отдѣляются отъ него широкой трещиной или, во всякомъ случаѣ, значительнымъ углубленіемъ, часто наполненнымъ водою; если имѣется широкая трещина, то



на стѣнкахъ ея видны плоскости истиранія, произведенныя на травянистомъ склонѣ двгавшимися потоками грязи. Вслѣдствіе этихъ боковыхъ валовъ и особенно трещинъ, отдѣляющихъ ихъ отъ склоновъ, не вездѣ возможно пробхать со склона прямо на оплывину. Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ, особенно часто въ Прямой Щели, на склонахъ, прилегающихъ къ оплывинѣ замѣчаются противъ боковыхъ валовъ примазки грязи и сглаженныя плоскости, свидѣтельствующія, что оплывина проходила здѣсь болѣе мощною, нежели какою она представляется теперь. Если теперь толщина ея до 40—60 м., то во время прохожденія ея въ узкихъ мѣстахъ толщина ея была по крайней мѣрѣ вдвое больше, т.-е. до 80—100 м., судя по слѣдамъ на склонахъ (см. фиг. 28 и 30).

При выходѣ оплывины изъ узкихъ частей долины въ расширенія, грязевые валы, такъ сказать, вѣерообразно расползаются, становятся ниже, менѣе изогнутыми и болѣе правильными, причѣмъ боковые валы совсѣмъ исчезаютъ; рядомъ съ этимъ появляется много трещинъ, частью продольныхъ, но болѣею частью поперечныхъ, которыя впрочемъ почти никогда не протягиваются во всю ширину оплывины, какъ въ верхней части ея, а только до половины или даже  $\frac{1}{4}$  ширины. Боковыя трещины обыкновенно здѣсь совершенно исчезаютъ и снова появляются только на нѣкоторомъ разстояніи ниже сгуженія.

Такимъ образомъ, рассматривая въ совокупности эти оба элемента оплывинъ, т.-е. трещины и валки напыля, нельзя не видѣть въ нихъ большой аналогіи съ подобными же элементами движенія на ледникахъ; аналогія эта замѣчена раньше въ Альпахъ и прекрасно выражена въ работахъ Гейма, но здѣсь, въ Вѣрненскихъ оплывинахъ, она находитъ себѣ блестящее подтвержденіе. Какъ въ ледникахъ, такъ и въ оплывинахъ, при переходѣ пороговъ или вообще крутыхъ мѣстъ долины, образуется масса поперечныхъ трещинъ, которыя ниже закрываются и исчезаютъ, частью замѣняются боковыми трещинами, наиболѣе развивающимися при неправильныхъ выступкахъ, а также при заворотахъ долины на выпуклой сторонѣ; онѣ очевидно также перемѣщались во время движенія оплывины и потому мѣстами представляютъ такую же запутанную сѣть, какъ это бываетъ съ боковыми трещинами на ледникахъ. Валики же или рубцы оплывинъ соотвѣтствуютъ пластинчатой структурѣ льда и располагаются также перпендикулярно къ трещинамъ, какъ и на ледникахъ<sup>1)</sup>. Словомъ, какъ въ ледникахъ, такъ и въ оплывинахъ, трещины и валки подчиняются однимъ и тѣмъ же законамъ, т.-е. трещины образуются подъ вліяніемъ растягиванія и располагаются перпендикулярно линіямъ наибольшаго растяженія, рубцы же производятся давленіемъ и располагаются перпендикулярно къ линіямъ наибольшаго давленія. Ниже, при описаніи болѣе густыхъ оплывинъ Аксея, гдѣ эти явленія выражены еще отчетливѣе, мы возвратимся къ этому сравненію и приведемъ рисунокъ наиболѣе типичной въ этомъ отношеніи оплывины, а теперь, ограничиваясь вышеприведенными замѣчаніями, про-

<sup>1)</sup> См. Физическую Геологію Мущкетова, Т. II, Гл. IX.

слѣдимъ далѣе, къ западу, слѣды разрушенія, оставленные въ горахъ землетрясеніемъ 28 мая, т.-е. перейдемъ теперь въ систему рѣкъ Малой и Большой Алматинокъ.

Поперечная долина Малой Алматинки, слѣдующая къ западу отъ только-что описанныхъ, имѣеть нѣсколько другой характеръ, чѣмъ предыдущія долины Котуръ-булака и Прямой Щели. Она представляетъ не расширенную, но узкую долину размытія, переходящую мѣстами въ тѣснину и ограниченную склонами въ нѣсколько тысячъ футовъ высотой; даже передъ выходомъ изъ горъ склоны ея возвышаются надъ долиною слишкомъ на 1000 ф.; они состоятъ изъ различныхъ кристаллическихъ породъ, между которыми преобладаютъ граниты. Хотя они также значительно сглажены, покрыты растительностью, но мощность наносовъ на нихъ несравненно меньше, чѣмъ на склонахъ предыдущихъ долинъ. Уже при самомъ устьѣ ущелья М. Алматинки встрѣчаются выходы основныхъ, сильно разрушенныхъ гранитовъ, а выше дачъ въ Кардонной Щели выступаютъ почти сплошныя голыя скалы ихъ. Рыхлые наносы сосредоточиваются главнымъ образомъ на днѣ долины и принадлежатъ частью къ ледниковымъ, а большею частью къ рѣчнымъ отложеніямъ; на склонахъ же преобладаютъ различные продукты вывѣтриванія, а въ нижней части ущелья довольно мощный лёссъ. Вслѣдствіе меньшаго развитія наносовъ и преобладанія твердыхъ породъ слѣды разрушенія въ долинѣ Малой Алматинки проявились далеко не такъ массивно, какъ въ вышеописанныхъ долинахъ. Хотя число оползней и оплывинъ здѣсь довольно значительно, но размѣры ихъ меньше. Всѣ они какъ бы отступаютъ къ югу и залегаютъ на юго-западномъ продолженіи предыдущихъ, т.-е. уклоняются согласно съ уклономъ къ SW самого хребта. Въ началѣ ущелья (на высотѣ 3500 ф.) попадаютъ только небольшіе простые оползни, но противъ лагеря появляется уже небольшая оплывина, наполнившая небольшой логъ, впадающій слѣва въ Алматинку. Оплывина эта хотя имѣеть около 3000 м. длины, но довольно узкая,—средняя ширина ея не болѣе 60 метр., а толщина не болѣе 10 м., такъ что содержитъ массу грязи не болѣе 1,808,000 куб. м. Слѣдующая за ней оплывина въ логѣ Мокрый Ключъ тоже заключаетъ въ себѣ не болѣе 1,500,000 куб. м. рыхлыхъ наносовъ. Также какъ и предыдущая, она едва достигаетъ до долины М. Алматинки и только частью спустилась по ней, заваливъ въ губернаторской дачѣ бывший звѣринецъ, дачную ферму и окружавшій ихъ садъ. Губернаторская "дача устояла, хотя дала трещины съ уклономъ до 35°—40° къ S и N, архіерейская же почти совсѣмъ разрушена. На высотѣ около 5000 ф., немного выше архіерейской дачи у Крестовой горы оползни достигаютъ наибольшихъ размѣровъ и между ними появляются оползни съ чашеобразной вершиной и всѣ склоны изрѣзаны многочисленными трещинами. Еще выше снова появляются только простые оползни; въ лѣвой вѣтви М. Алматинки, называемой Буракова Щель, на высотѣ болѣе 6000 ф. находится много мелкихъ оползней (до 40) съ небольшою оплывиною, такъ что приблизительно всѣ вмѣстѣ они составляютъ массу не болѣе 2,000,000 куб. м., тоже и въ Кардонной Щели. Но интересно, что съ умень-

шеніем наносовъ на высотѣ около 8000 ф. оползни прекращаются и замѣняются каменистыми осыпями, развитыми особенно на высотѣ около 9000 ф. Выше 10,000 ф. никакихъ видимыхъ слѣдовъ разрушенія не наблюдается. Всего въ долинѣ Малой-Алматинки подсчитано нами приблизительно около 12,000,000 куб. метровъ передвинутыхъ породъ.

По свидѣтельству очевидцевъ, продукты оползней и осыпей во многихъ мѣстахъ запрудили рѣку М. Алматинку, которую питается г. Вѣрный, вслѣдствіе чего до полудня 28 мая воды въ ней не было и всѣ арыки въ г. Вѣрномъ также высохли. Въ полдень 28 мая вода прорвалась и хлынула въ видѣ грязнаго потока; только къ утру

Фиг. 30.



29 мая возстановилось нормальное теченіе ея, хотя вода долго еще оставалась мутною. Эта-то остановка воды и затѣмъ послѣдующій прорывъ грязной рѣки, ближайшей къ г. Вѣрному, были первою причиною тѣхъ слуховъ о наводненіи и потопленіи Вѣрнаго, которые причинили вышеописанную панику.

Въ различныхъ логахъ и мелкихъ долинахъ, залегающихъ между Малою и Большою Алматинками, находится множество оползней и три оплывины, длиною около 2000 метровъ каждая; всѣ вмѣстѣ разрушенія эти составляютъ около 6,000,000 куб. м.

Въ слѣдующей къ западу долинѣ Большой Алматинки слѣды разрушенія также значительны и разнообразны. Долина эта представляетъ особый интересъ по своему положенію какъ разъ на линіи замѣтнаго изогнутія Запайскаго Алатау, который свое NO—SW простираніе, преобладающее западнѣ долины Б. Алматинки, измѣняетъ въ

O—W, так что горы правой стороны этой долины выступают гораздо сѣвернѣе, нежели горы южной стороны, отступающія къ югу. Долина эта изслѣдована нами наиболѣе подробно и по ней произведена нивелировка отъ г. Вѣрнаго до оз. Иссык-куля, которая послужила основаніемъ къ прилагаемому геологическому разрѣзу (см. профиль). При самомъ входѣ въ горы долина эта пріобрѣтаетъ характеръ чисто горный, какъ и Малая Алматинка; высокіе склоны, состоящіе изъ тѣхъ же разрушенныхъ гранитовъ, уже верстѣ черезъ 5 отъ подошвы Алатау становятся скалистыми. Только въ началѣ ущелья они покрыты мощными отложениями лѣсса, замѣняющагося въ самой долинѣ рѣчными песчано-глинисто-галечниковыми образованиями. Выше же высокіе склоны покрыты только глинистымъ элювіемъ — продуктомъ вывѣтриванія гранитовъ, который уже противъ Урта-сай (Проходная или Прямая Щель) утоняется до фута, а выше находится только на самой вершинѣ скалистыхъ, совершенно голыхъ склоновъ. Дно долины занято, кромѣ рѣчныхъ отложений, накопленіями ледниковыхъ валуновъ, достигающихъ громаднхъ размѣровъ и увеличивающихся къ верховью долины.

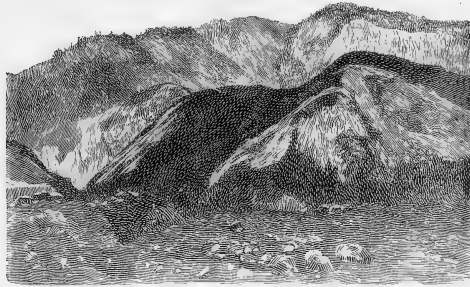
Разрушенія начинаются небольшими простыми оползнями и трещинами уже на высотѣ менѣе 3000 ф. (2800 ф.) на склонахъ у лога Канжаганъ-сай, въ 4 верстахъ отъ Вѣрнаго; замѣтимъ кстати, что всѣ полевья постройки и глиняныя сакли, расположенныя въ культурныхъ предгоріяхъ къ югу и юго-западу отъ Вѣрнаго, совершенно разрушены. Такіе же небольшіе оползни, съ трещинами до 40°, попадаются въ логѣ Арамъ-сай до самаго моста (3700 ф.) черезъ Б. Алматинку, также разрушеннаго при землетрясеніи (фиг. 32). Несмотря, однако, на мощность наносовъ, разрушеніе здѣсь меньше нежели выше моста, гдѣ наносы значительно умяляются; такое явленіе, т.-е. увеличеніе интенсивности разрушенія внѣ области наносовъ, хотя уже подмѣчалось на М. Алматинкѣ, но не съ такою очевидностью, какъ здѣсь.

При входѣ въ ущелье появились значительныя оплывины, немного ниже притока Тереспутака, на лѣвой сторонѣ Б. Алматинки, на высотѣ около 5000 ф. Онѣ вынесены изъ боковыхъ лѣвыхъ притоковъ въ видѣ темно-сѣрой грязи съ многочисленными гальками и даже валунами гранита и гнейса; вѣроятно они были довольно жидкими, потому что, достигнувъ долины Б. Алматинки, наибольшія изъ нихъ потекли внизъ по долинѣ, а меньшія — расположились довольно тонкимъ слоемъ въ видѣ вѣера или дельтообразной площади; здѣсь находятся три оплывины, массы которыхъ опредѣлить весьма трудно, потому что онѣ залегаютъ въ узкихъ ущельяхъ, куда пробраться было невозможно; издали видно, что толщина ихъ вверхъ увеличивается по крайней мѣрѣ вдвое противъ мощности ихъ въ дельтовидныхъ расширеніяхъ, т.-е. на концѣ, гдѣ она варьируетъ отъ 5 до 15 метр.; если принять толщину ихъ около 20 м. за среднюю, что вѣроятно меньше дѣйствительной, а длину около 2000 м. и ширину до 100 м., то объемъ каждой изъ нихъ не менѣе 4,000,000 куб. м., а всѣхъ трехъ — около 12,000,000 куб. м. Нѣкоторыя изъ нихъ, насколько можно было видѣть издали, имѣютъ чашеобразную вершину съ отвѣсными краями, не менѣе 10 метровъ высотой. Кромѣ

этихъ трехъ имѣются еще нѣсколько малыхъ оплывинъ на правой сторонѣ Б. Алматинки, которыя, всѣ вмѣстѣ, составляютъ около 2,000,000 куб. м. Выше, въ ущельѣ Тереспутака, также находится много оползней, трещинъ и сбросовъ, но масса, къ сожалѣнiю, не опредѣлена; по разсказамъ же киргизъ онѣ довольно значительны и не уступаютъ Мало-Алматинскимъ; если принять массу ихъ до 2,000,000 куб. м., то это ни въ какомъ случаѣ не будетъ преувеличеніемъ.

Почти противъ устья Тереспутака, на лѣвой сторонѣ Б. Алматинки, выше предыдущихъ оплывинъ, въ верхней части склона, въ области хвойнаго лѣса, на высотѣ около 6000 ф. находится множество оползней, но между ними выдѣляется одинъ, почти бѣлаго цвѣта, громадной высоты, около 400 м.; онъ находится въ самой вершинѣ одного изъ боковыхъ ущелий, которое отъ Большой Алматинки сначала идетъ прямо къ западу, а затѣмъ, съ половины длины поворачиваетъ на сѣверъ, гдѣ и оканчивается,

Фиг. 31.



такъ что склонъ вершины съ оползнями обращенъ къ югу и изъ долины Б. Алматинки видна только верхняя часть его, нижняя же закрыта горами. При ближайшемъ разсмотрѣнiи оказалось, что оползень этотъ, такъ рѣзко выдающійся изъ всѣхъ другихъ уже по своему бѣлому цвѣту, представляетъ громадный обвалъ на склонѣ гранитной горы. На слѣдующемъ рисункѣ (фиг. 31) изображенъ этотъ обвалъ, какъ онъ представляется изъ долины Б. Алматинки. При устьѣ этого ущелья находится темно-сѣрая оплывина съ многочисленными свѣжими обломками свѣтло-сѣраго гранита, количество которыхъ, вверхъ по оплывинѣ, значительно увеличивается, такъ что въ верхней части ущелья, собственно грязевая оплывина, происшедшая отъ оползней въ нижней части, исчезаетъ, а вмѣсто ея появляется громадное скопленіе остроугольныхъ, различной величины, отъ мелкихъ до 2 метровъ въ діаметрѣ, свѣжихъ обломковъ свѣтло-сѣраго гранита. Такимъ образомъ въ верхней части этого ущелья произошелъ значи-

тельный гранитный обвалъ, а въ нижней — глинисто-песчаные оползни, которые образовали оплывину и замаскировали гранитный навалъ на большей части длины ущелья, вследствие чего изъ долины Б. Алматинки гранитнаго обвала можно не замѣтить (см. фиг. 31—32). Вследствие трудности пробраться по этому ущелью, невозможно было съ точностью опредѣлить массу этого, очевидно громаднаго обвала; при разсмотрѣннн его съ вершины южнаго склона видно, что все ущелье, длиною около 4000 м., сплошь покрыто продуктами обвала и оползней, въ ширину до 200 м. и толщину, у устья, только около 10 м., но вверхъ она значительно увеличивается и едва ли будетъ преувеличеніемъ принять ее около 30 метр., следовательно, масса обвалившихся породъ составитъ около 24,000,000 куб. метровъ.

Выше Тереспутака и описаннаго гранитнаго обвала, на обоихъ склонахъ Б. Алматинки находятся еще нѣсколько оползней и оплывинъ. Прежде всего поражаетъ своею

Фиг. 32.

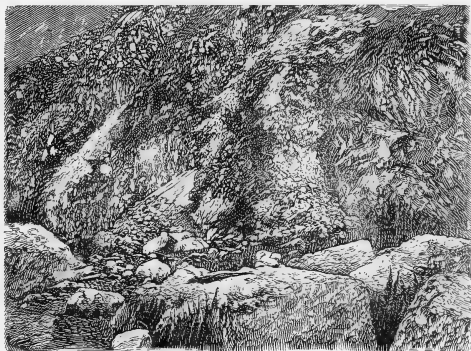


величиною громадная оплывина, тоже съ валунами, вышедшая изъ лѣваго притока Урта-сай, называемаго также Прямою или Проходною Щелью, потому что по ней прежде шла кратчайшая дорога на Алматинскій перевалъ. Изъ этого ущелья съ необыкновенною быстротою изверглась громадная оплывина, завалившая, по рассказамъ, домъ полковника со всѣмъ его семействомъ, а также нѣсколько киргизскихъ кибитокъ, съ 39 киргизами, и много скота; такъ, киргизъ Атбанъ, нашъ главный проводникъ, прекрасному знанію мѣстности котораго мы во многомъ обязаны, потерялъ при этомъ около 150 лошадей. Оплывина эта, даже при концѣ, т.-е. въ долинѣ Б. Алматинки, имѣетъ до 60 м. толщины; она совершенно завалила ущелье во всю ширину до 300 м. и по длинѣ версты на 3, т.-е. около 3000 м. Даже въ августѣ она еще была непроходима вследствие большихъ неровностей и громадныхъ трещинъ, которыя избороздили ее вдоль и поперекъ; мы могли осмотрѣть ее только издали со склона; въ составъ ея

входить не только бурая грязь, но множество громадных валунов гранита и стволов хвойных деревьев. Масса ея во всякомъ случаѣ не менѣ 54,000,000 куб. мегровъ.

Выше Урта-сай, на склонахъ Б. Алматинки, особенно на правомъ, находится много довольно значительныхъ оспей, спустившихся изъ крутыхъ боковыхъ ущелій; они состоятъ почти исключительно изъ различныхъ обломковъ гранита съ примѣсю растительнаго слоя и съ многочисленными стволами деревьевъ. Поверхность ихъ совершенно голая, ровная, безъ трещинъ, только стволы нарушаютъ ея однообразіе. Такъ какъ прилегающій склонъ представляетъ обнаженные скалы, даже безъ слоя растительной земли, то, очевидно, присутствіе ея въ оспяхъ вмѣстѣ со стволами деревьевъ указываетъ, что осыпь частъ своего матеріала получила съ вершины гранитнаго склона, гдѣ растутъ хвойный лѣсъ и гдѣ имѣется растительный слой, т.-е. съ высоты болѣе 8000 ф.

Фиг. 33.

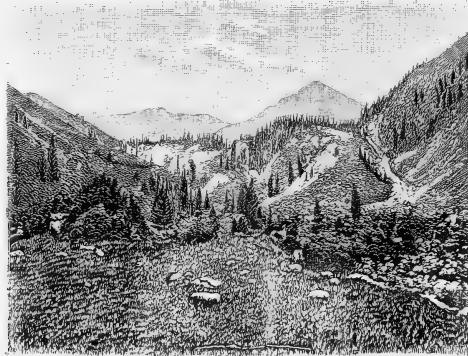


Эти каменистыя осыпи особенно развиты между устьемъ Урта-сай и слѣдующимъ къверху мостомъ черезъ Б. Алматинку, т.-е. въ той части долины, которая значительно расширена и простирается почти къ востоку. Масса ихъ въ этой части приблизительно около 5,000,000 куб. м. Выше моста, долина Б. Алматинки суживается въ узкую тѣснину, приобретаетъ прежнее юго-восточное направленіе и тянется въ такомъ видѣ до высоты 5500 ф., т.-е. на разстояніи 4 верстъ, гдѣ снова дѣлается широкою. Въ суженой части долины, гдѣ склоны состоятъ изъ сплошныхъ скалъ гранита, осыпи становятся рѣже, но все-таки мѣстами достигаютъ значительныхъ размѣровъ. О характерѣ этихъ свѣжихъ каменныхъ оспей можно судить по слѣдующему рисунку (фиг. 33), изображающему одну изъ очень маленькихъ, но характерныхъ оспей на высотѣ 5000 ф., на правомъ склонѣ долины Б. Алматинки. Около послѣдняго верхняго моста у яруснаго, весьма красиваго водопада, ниспадающаго тонкою струею съ высоты около 700 ф.

двумя ярусами, находится осыпь, совмѣстно съ грязевою оплывиною, рѣзко отличающаяся своимъ темно-бурымъ цвѣтомъ отъ свѣтло-сѣрой гранитовой осыпи. Обѣ онѣ заключаютъ болѣе 1,000,000 куб. м. камней и грязи.

Выше послѣдняго моста, гдѣ начинаются мощныя древне-ледниковыя отложенія, хотя осыпи и оплывины продолжаютъ, но уже не достигаютъ такихъ размѣровъ; только на поперечной моренѣ, перегораживающей Б. Алматинку въ видѣ колоссальной плиты въ 1200 ф. высоту, изъ громаднѣхъ, беспорядочно нагроможденныхъ валуновъ различнаго гранита, ортоклазоваго порфира, авгитоваго порфира и др. породъ, входящихъ въ составъ хребта, произошли болѣе значительныя осыпи на крутомъ высокомъ сѣверномъ склонѣ, обращенномъ къ низовью долины Б. Алматинки и особенно въ восточномъ концѣ морены; осыпи эти отчетливо выдѣляются уже издали, въ видѣ обнаженныхъ желтовато-сѣрыхъ пятенъ, среди хвойнаго лѣса (фиг. 34). Въ западномъ

Фиг. 34.

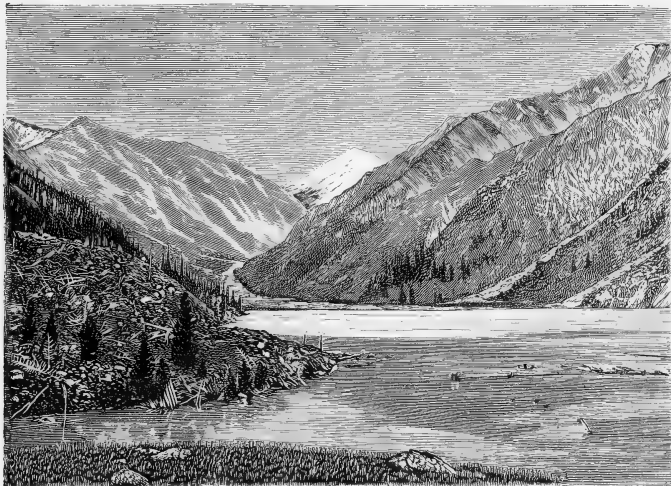


концѣ морены оборвавшіеся большіе валуны повалили много лѣса. Прилагаемый рисунокъ даетъ понятіе, какъ о формѣ поперечной морены, какъ она рисуется снизу, такъ и о характерѣ происшедшихъ разрушеній на сѣверномъ крутомъ склонѣ ея. За этою мореною, къверху, находится небольшое моренное озеро Джасыль-куль (фиг. 35), совершенно аналогичное, какъ по образованію, такъ и по своему характеру и замѣчательному изумрудно зеленому цвѣту воды, вышеупоминавшемуся, тоже моренному озеру въ долинѣ Иссыка (фиг. 36 также см. выше фиг. 17), но только меньшей величины; оно лежитъ на высотѣ 8125 ф.; на южномъ берегу его, на склонѣ морены, также наблюдаются небольшія осыпи какъ видно на прилагаемомъ рисункѣ (фиг. 35), гдѣ изображена часть разрушеннаго склона морены и самого озера, съ притокомъ, питающимъ озеро; долина этого потока представляетъ одинъ изъ самыхъ главныхъ рукавовъ Б. Алма-



тинки; онъ вытекаетъ изъ ледниковъ, выходящихъ изъ обширныхъ цирковъ, надъ которыми воздымаются высочайшія пики Заалійскаго Алатау; восточные изъ нихъ имѣютъ до 14,300 ф. высоты, а западные—до 13,000 ф. слишкомъ. Осыпи и вообще слѣды разрушенія выше озера, хотя наблюдаются мѣстами на порфировыхъ склонахъ ущелій, но весьма небольшія, а выше 10,000 ф. совсѣмъ исчезаютъ. По словамъ очевидцевъ, выше озера осыпи были настолько малы, что табуны лошадей, пасшіеся на пастбищахъ выше озера, совсѣмъ не пострадали, а выше 10,000 ф. даже и сотрясеніе было едва замѣтно; тогда какъ вода въ озерѣ отъ обваловъ сдѣлалась мутной, желтовато-бураго цвѣта, вмѣсто ярко-зеленой. Масса всѣхъ осыпей въ окрестностяхъ Джасыль-куля приблизительно оцѣнивается отъ 2 до 3.000.000 куб. метр.

Фиг. 35.



И такъ вся масса породъ, передвинутыхъ въ долину Б. Алматинки, весьма значительна—не менѣе 104,000,000 куб. метр. Считая отъ самыхъ крайнихъ слѣдовъ разрушенія у Канжаганъ-сай до самыхъ верхнихъ осыпей за оз. Джасыль-куль, разрушенія въ долину Алматинки тянутся по долину почти на 25 верстъ, причемъ наиболѣе крупныя слѣды, начинаясь отъ первыхъ значительныхъ оползней ниже устья Тереспутака до гранитныхъ осыпей, передъ суженіемъ долины занимаютъ около 5 верстъ по долину Б. Алматинки, до высоты 5300 ф. по дну долины.

Къ западу отъ долины Б. Алматинки трещины, оползни и оползневныя весьма многочисленны и рѣшительно нѣтъ ни одного склона, свободнаго отъ нихъ на сколько-ни-

будь значительномъ протяженіи, но особенно ихъ много по небольшимъ долинамъ: Карагайлы, Ойджайлау, Джаманъ-булакъ, Тасты-булакъ и Аксай, гдѣ, кромѣ громаднхъ оплывинъ, находятся не менѣ громадны гранитны обвалы. Трещины не только избороздили всѣ склоны, но даже не менѣ развиты на гребняхъ отроговъ, раздѣляющихъ долины. Оплывины болѣею частью заняли всѣ узкіе лога и долины; чему много способствовали, съ одной стороны, крутизна склоновъ, а съ другой—значительная мощность наносовъ, покрывающихъ толстымъ слоемъ всѣ предгорія между долинами Б. Алматинки и Каскеленомъ включительно, лежащей западнѣ долины Аксая. Наносы эти здѣсь также разнообразны по происхожденію, какъ и въ восточной части области разрушенія, т.-е. въ нижнихъ предгоріяхъ развитъ мощный лёсъ, покрывающій склоны и гребни отроговъ и только въ долинахъ смѣляющихся рѣчными песчано-глинистыми осадками; выше преобладаютъ ледниковыя осадки и элювий. Всѣ эти наносы сверху

Фиг. 36.



превратились въ жирный черноземъ съ богатою растительностью, покрывающею эти цвѣтушія предгорія. Между Б. Алматинкою и Джаманъ-булакомъ оплывины хотя многочисленны, но онѣ не доходятъ до подошвы горъ. Масса ихъ приблизительно можетъ быть оцѣнена по крайней мѣрѣ въ 6,000,000 куб. м.

Вслѣдствіе быстрого образованія ихъ, многіе жившіе въ долинахъ, погибли, напр., В. Ф. Ошанинъ рассказываетъ слѣдующій трагическій случай: въ Карагайлинскомъ ущельѣ, полѣсовщикъ, во время землетрясенія, схватилъ двухъ дѣтей и выбѣжалъ съ ними; въ то же время разрушился его домъ и задавилъ оставшихся тамъ дѣтей. Мать его, хотя успѣла выскочить изъ дома, но тотчасъ была завалена оплывиною, болѣе чѣмъ до половины. Всѣ старанія полѣсовщика освободить старуху, были напрасны, такъ какъ каждое усиліе вызывало новые обвалы въ рыхломъ оползніѣ. Полѣсовщикъ укрѣпилъ и, по возможности, остановилъ движеніе грязи деревянными подпоргами и побѣжалъ за

помощью. Прискакавшіе казаки не рѣшились откапывать старуху, такъ какъ оплывина могла завалить и ее и ихъ самихъ. Такимъ образомъ, старуха оставалась живо погребенною въ теченіе болѣе сутокъ. Наконецъ одинъ смѣльчакъ не могъ перенести вида ея мученій, и рѣшился, или спасти ее или погибнуть вмѣстѣ съ нею. Онъ успѣлъ благополучно освободить ее, хотя сильно помятую, но живую и даже съ цѣлыми костями.

На Джаманъ-булакѣ является первая оплывина, заполнившая не только всю долину, но и вышедшая, въ видѣ довольно мощнаго потока за предѣлы горъ. Потокъ этой густой грязи, по рассказамъ жителей, двигался очень медленно, и уже вышедши изъ горъ, продолжалъ ползти въ теченіе четырехъ дней. Онъ покрылъ собою не только русло Джаманъ-булака и всѣ выведенные изъ него арыки, но широко разлился по обѣ стороны русла, наполнивъ равнину, отдѣляющую Джаманъ-булакъ отъ сосѣдней р. Карагайлы, которая на нѣкоторомъ разстояніи была восточною границею его, но затѣмъ онъ покрылъ мѣсто соединенія этихъ рѣкъ и разлился на широкой площади между Джаманъ-булакѣ и Ой-Джайлау, немного не дойдя до казачьяго хутора на Ой-Джайлау. Рѣка Джаманъ-булакъ только черезъ нѣсколько дней возстановила свое теченіе и во многихъ мѣстахъ проложила себѣ новое русло (см. карту долины Аксая).

Длина этой огромной оплывины, собственно въ предѣлахъ горъ, около 4000 м., да внѣ горъ (часть снятая на планѣ) почти 2500 м., слѣдовательно, вся длина ея 6500 м. Кромѣ того, отъ главнаго потока, при выходѣ изъ горъ, отдѣляется еще западный рукавъ, который, соединившись съ небольшими оплывинами сосѣднихъ западныхъ логовъ, образовалъ также значительную оплывину, раздваивающуюся на концѣ виллообразно и имѣющую длину 1250 м. Хотя наибольшая ширина главнаго рукава на концѣ около 300 м., но общая не болѣе 160 м. внѣ горъ, и 100 м. въ горахъ; такая же ширина, т.-е., около 160 м. и западнаго рукава. Что касается толщины, то, нѣсколько выше конца ея, но еще въ расширенной части, она около 20 м., кверху мощность главной оплывины значительно возрастаетъ и уже около горъ она болѣе 40 м. Принимая среднюю мощность ея въ 30 м., а ширину въ 130 м., получаемъ массу болѣе 25,000,000 куб. м., а въ западномъ рукавѣ около 5,000,000 в. м., итого въ обоихъ, около 30,000,000 куб. м.

Такъ какъ Джаманъ-булакская оплывина оканчивается на сравнительно ровной мѣстности, внѣ горъ, то она единственна въ своемъ родѣ, потому что даетъ возможность ближе познакомиться съ общою формою оплывинъ вообще и окончательно убѣдиться въ значительной густотѣ этихъ грязевыхъ потоковъ. По составу она почти ничѣмъ не отличается отъ прежде описанныхъ оплывинъ, т.-е., это не слоистая глинисто-песчаная масса, свѣтло-бураго цвѣта, со множествомъ различной величины валуновъ кристаллическихъ породъ, преимущественно гранита, стволами, обломками стволовъ и вѣтвями деревьевъ. Въ массѣ, но особенно на поверхности ея, находится безчисленное множество раковинъ наземныхъ, свойственныхъ лѣссу и, частью, прѣсноводныхъ, внѣ

живущих моллюсковъ изъ родовъ: *Helix*, *Planorbis*, *Limnaea* и *Pupa*; замѣчательное сохраненіе ихъ, именно на поверхности оплывинъ, вѣроятно, объясняется тѣмъ, что на поверхности не имѣло мѣста то значительное давленіе, которое развивалось внутри массы, при движеніи ея, и которое способствовало, вѣроятно, раздробленію ихъ тамъ, а слѣдовательно, уничтоженію цѣльныхъ экземпляровъ; вслѣдствіе этого, въ разрѣзахъ, произведенныхъ позднѣйшимъ размытіемъ, а также въ стѣнкахъ широкихъ трещинъ, наблюдаются или только мелкіе осколки раковинъ, или же ихъ совсѣмъ нѣтъ.

На равнинѣ оплывина залегаетъ въ видѣ плоскаго, нѣсколько бугристаго, но совершенно обособленнаго вала съ рѣзко обозначенными, довольно крутыми склонами, до  $50^\circ$ , а мѣстами почти отвѣсными; средняя часть оплывины нѣсколько возвышена надъ краями, а къ концу замѣтно утоняется и оканчивается весьма пологимъ склономъ; правда, что подобное же утоненіе наблюдается въ нѣкоторыхъ мѣстахъ и боковыхъ склоновъ, но только тамъ, гдѣ почва имѣла довольно значительный уклонъ въ сторону отъ потока. Поверхность оплывины изборозжена многочисленными трещинами, преимущественно продольными, и хотя разнообразно изогнутыми, но въ общемъ простирающимися совершенно согласно съ направленіемъ потока, т.-е., NW11h и отчасти даже повторяющими изгибы его; размѣры ихъ весьма различны, длина нѣкоторыхъ около 100 метровъ, ширина до 0,5 метр., а глубина до  $1\frac{1}{2}$  метра. Онѣ развиты, главнымъ образомъ, по бокамъ нѣсколько выпуклой средней части оплывины и обозначаютъ собою какъ бы отдѣльныя продольныя струи въ потокѣ, двигавшіяся съ различною скоростью; это до нѣкоторой степени доказывается, помимо расположенія трещинъ, тѣмъ еще, что часто продолженіемъ трещинъ, особенно въ суженныхъ мѣстахъ оплывины, служатъ замѣтныя продольныя же возвышенія или рубцы, происшедшіе какъ бы отъ выпятившихся и, отчасти, раздробленныхъ краевъ двухъ струй, прижатыхъ другъ къ другу. На концѣ оплывины, гдѣ она значительно расширяется, количество трещинъ увеличивается и онѣ расходятся вѣерообразно; иногда одна струя лежитъ выше сосѣдней, какъ бы опустившейся, и тогда край ея представляется стѣною, на поверхности которой замѣчается нѣчто въ родѣ изборозденія и сглаженности. Нѣкоторыя изъ этихъ трещинъ, очевидно, подверглись уже позднѣйшему размытію и представляютъ, такъ сказать, молодые, только что образовавшіеся овраги. Кромѣ продольныхъ, находятся еще боковыя трещины, которыя разрѣзываютъ самые края оплывины. Онѣ большею частью появляются цѣлою сѣткою и до того разбиваютъ края, что онѣ становятся непроходимыми; онѣ развиты неравномѣрно и больше въ верхней части оплывины, т.-е. ближе къ ущелью.

Кромѣ трещинъ и продольныхъ рубцовъ на поверхности оплывины и, отчетливѣе всего, въ нижней части ея наблюдаются дугообразно-изогнутые поперечные валки наплыва; они достигаютъ до 1 м. въ высоту, и выпуклою стороною обращены въ сторону потока.

Такимъ образомъ, на Джаманъ-булакской оплывинѣ законность въ расположеніи

элементовъ движенія, т.-е. трещинъ и валиковъ, выражена еще яснѣе, чѣмъ на Котурь-булакскихъ, а потому и аналогія ихъ съ ледниковыми выступаетъ еще рѣзче. Кромѣ того, тѣ же элементы и, особенно, сохранившіяся трещины, а также и общая обособленная форма оплывины доказываютъ, что вытекавшая масса грязи обладала значительною густотою и, вмѣстѣ съ тѣмъ, хрупкостью.

Совершенно подобный же характеръ имѣеть и слѣдующая къ западу оплывина, излившаяся изъ ущелья Тасты-булакъ, но она гораздо меньшей величины, и только нѣсколько метровъ не дошла до заимки съ хозяйственными постройками. Длина ея, въ ущелья (часть обозначенная на планѣ долины Акса) около 1500 м., а въ ущельѣ около 3000 м.; при выходѣ изъ горъ она, въ противоположность Джаманъ-булакской, поворачиваетъ не къ NW, а къ NO; наибольшая ширина ея, на концѣ, около 250 метровъ, но средняя—не превосходить 75 м.; толщина ея, въ среднемъ, не болѣе 20 м., такъ что масса ея заключаетъ около 6,500,000 куб. м., если сюда прибавить еще маленькія оплывины въ логахъ между Джаманъ и Тасты-булакомъ, то вся масса получится равною 7,000,000 куб. м.

Въ долинѣ Акса слѣды разрушенія также многочисленны и также наибольшаго развитія достигаютъ на высотѣ около 5500 ф., и притомъ особенно въ области гранита, подобно тому, какъ это уже мы видѣли отчасти въ долинѣ Б. Алматинки.

Разрушенія въ видѣ трещинъ и простыхъ оползней начинаются уже на высотѣ около 3500 ф., но съ поднятіемъ они быстро увеличиваются. Высокіе травянистые склоны, покрытые довольно мощнымъ наносомъ, до такой степени изборождены трещинами, что по нимъ во многихъ мѣстахъ не только проѣхать, но даже проходить возможно только съ трудомъ; онѣ находятся даже на плоскихъ, сравнительно, ровныхъ вершинахъ склоновъ и гребняхъ уваловъ; простираніе ихъ большею частью согласно съ простираніемъ склоновъ. На водораздѣлахъ онѣ меньшей величины, а къ подошвѣ склона, особенно въ среднѣ, увеличиваются до 1 м. шириною и до 2 м. глубиною; ближе къ Акъ-джару онѣ образуютъ запутанную сѣть, совершенно разрыхлившую склоны. Паденіе ихъ отъ 35°—40° въ началѣ ущелья, доходитъ до вертикальнаго у Акъ-джара. По нимъ образовались оползни, въ началѣ ущелья небольшіе и простые (какъ на фиг. 32), а у Акъ-джара громадныя, съ чашеобразною вершиною и мощными оплывинами. Хотя количество ихъ одинаково велико на обѣихъ склонахъ, но наибольшіе изъ нихъ находятся на правомъ склонѣ Акса; на лѣвомъ же, болѣе крутомъ склонѣ, большіе оползни и оплывины попадаютъ только уже выше Акъ-джара (см. карту Акса). Условія образованія ихъ такія же, какъ и въ другихъ вышеописанныхъ долинахъ.

Первые оползни появляются на лѣвомъ склонѣ Акса уже въ одной верстѣ отъ начала ущелья, но болѣе крупный оползень находится на правомъ склонѣ, въ двухъ верстахъ, образовавшій первую оплывину до 20 метровъ толщиною и площадью до 10,000 кв. метровъ, такъ что масса ея около 200,000 куб. м., а вмѣстѣ со всѣми предыдущими 20 оползнями она составляетъ около 1,000,000 к. м. грязи. Меньше

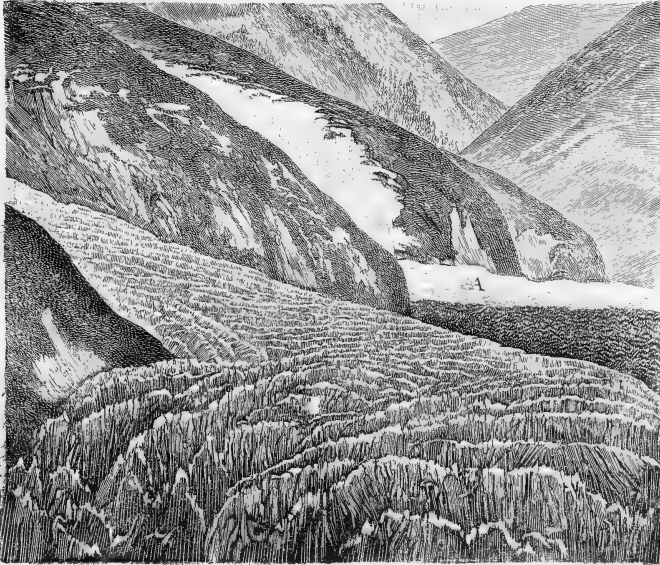
чѣмъ черезъ полверсты выше, начинается сплошная оплывина, заполняющая долину Аксая во всю ширину, кромѣ русла, проложеннаго р. Аксаемъ уже послѣ. Она состоитъ также изъ песчано-глинистаго, неслоистаго матеріала съ валунами, стволами деревьевъ и множествомъ наземныхъ раковинъ на поверхности, какъ Джаманъ и Тастыбулакскія оплывины. Она отличается значительною неровностью, отдѣльные холмы на ней или бугры возвышаются на 20—30 м. надъ общою поверхностью грязевого потока, а такъ какъ мощность ея до 40—50 м. и даже въ концѣ 20 м., то въ мѣстахъ появленія холмовъ мощность эта возрастаетъ до 70 и даже до 80 м. Появленіе такихъ неровностей объясняется, вѣроятно, столкновеніемъ потоковъ различной мощности, выходящихъ изъ обширныхъ логовъ праваго склона Аксая. Изъ нихъ наибольшую массу извергнувъ логъ Джитымъ-сай, немного ниже уцѣлѣвшей пасѣки, за которою сосѣдніе два лога также дали мощную оплывину. Между этими двумя оплывинами небольшой влочекъ долины съ густымъ кустарникомъ и пасѣкой остался непокрытымъ и даетъ полное понятіе о прежнемъ характерѣ долины Аксая, нынѣ опустошенной завалами. Холмы на оплывинѣ представляютъ также части валиковъ или рубцовъ отъ напыла, особенно на правой сторонѣ Аксая, гдѣ именно низвергались потоки въ направленіи перпендикулярномъ къ долинѣ; въ долинѣ потоки сталкивались и, такъ сказать, подпирали или всучивали другъ друга; на лѣвой сторонѣ, куда доходили не всѣ оплывины, а только наибольшія, такихъ сталкиваній происходило меньше, а потому холмы рѣдки, а напротивъ, валики отъ напыловъ обнаружились рѣзче, какъ видно и на картѣ Аксая. Это столкновеніе грязевыхъ потоковъ, образовавшихъ одну оплывину съ бугристою поверхностью, съ одной стороны доказываетъ, что потоки эти низвергались одновременно, а съ другой—что матеріалъ ихъ обладаетъ достаточною густотою; при значительной жидкости ихъ не сохранились бы холмы и не остались бы площадки, незанятая грязью, какъ вышеупомянутая пасѣка.

Раздѣльность различныхъ потоковъ, кромѣ холмовъ, произвела еще продольныя трещины, простирающіяся согласно съ направленіемъ движенія оплывины, т.-е. почти N, причемъ также, какъ на Джаманъ-булакской, нерѣдко трещины продолжаютъ въ продольные валы или же по нимъ замѣчаются продольные сдвиги.

При устьяхъ логовъ и нѣсколько выше, т.-е., въ тѣхъ мѣстахъ потока, гдѣ нельзя предполагать столкновенія съ сосѣдними, поверхность его лишена холмовъ, продольныхъ валовъ и трещинъ со сдвигами; вмѣсто ихъ замѣчаются только небольшіе, дугообразно изогнутые валики напыла, обращенные выпуклою стороною въ сторону теченія и не превышающіе 20—30 сант. въ вышину, да мелкія трещины, преимущественно боковыя; въ крутыхъ частяхъ лога боковыя трещины обѣихъ сторонъ удлиняются до соединенія между собою и превращаются въ поперечныя трещины, обыкновенно нѣсколько изогнутыя въ срединѣ и выпуклостью обращенныя книзу, т.-е. въ сторону теченія; онѣ разбиваютъ все тѣло оплывины на отдѣльные куски, причемъ нижніе изъ нихъ нѣсколько сдвинуты по отношенію къ верхнимъ, такъ что вся поверхность оплывины имѣетъ

мелко-ступенчатый или лестницеобразный видъ, на подобіе того, какъ это часто наблюдается на поверхности ледника при прохожденіи поперечныхъ пороговъ или крутыхъ склоновъ—явленія, совершенно аналогичныя. При выходѣ потока изъ лога въ долину Аксай, гдѣ онъ сталкивается съ другими потоками и заворачиваетъ круто къ сѣверу, тамъ эти трещины, подъ вліяніемъ давленія, исчезаютъ особенно быстро на внутренней, вогнутой сторонѣ заворота, а на внешней, выпуклой, остаются только въ такомъ случаѣ, если не подпираются соседнимъ, вышележащимъ потокомъ. Такой случай представляетъ громадная оплывина лога Джитымъ-сай, на которой вообще боковыя и

Фиг. 37.

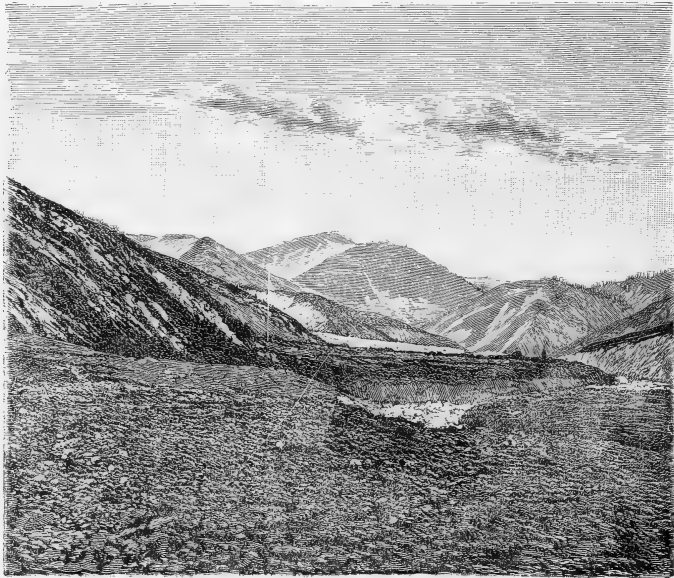


поперечныя трещины выражены съ замѣчательною отчетливостію; на прилагаемомъ рисункѣ (фиг. 37) изображена часть этой оплывины съ трещинами (B) при самомъ выходѣ изъ лога Джитымъ-сай въ долину Аксай. Рисунокъ этотъ даетъ понятіе и вообще о характерѣ поверхности оплывины съ трещинами.

Принимая среднюю мощность всей Аксайской оплывины только 50 м., среднюю ширину въ 200 м., такъ какъ она варьируетъ отъ 100 до 300 м., а длину отъ нижняго конца до границы ея съ гранитнымъ потокомъ—2500 м., получаемъ общую массу ея въ 25,000,000 куб. метр., т.-е. почти одинаковую съ Джаманъ-булакской.

Через полверсты, по правой сторонѣ Акса и через  $1\frac{1}{2}$  версты по лѣвой, выше пасѣки, на высотѣ 4600 ф., грязевые потоки-оплывины, въ собственномъ смыслѣ, оканчиваются и замѣняются каменною гранитною осыпью, рѣзко отличающеюся отъ темно-цѣтныхъ оплывинъ своимъ свѣтло-сѣрымъ цвѣтомъ, издали кажущимся бѣлымъ. Осыпь эта вынесена громаднымъ обваломъ въ вершинѣ Акъ-джара и занимаетъ долину Акса во всю ширину и по длинѣ около 500 м.; на картѣ Акса она обозначена особю краскою, а на рисункѣ (фиг. 38 тоже А фиг. 37) изображенъ конецъ бѣлой гранитной осыпи, протянувшійся волнистою полосою поперегъ Акса и рѣзко отдѣляющійся

Фиг. 38.



отъ темныхъ оплывинъ, видныхъ на переднемъ планѣ рисунка; вдали, на склонахъ, замѣтны свѣтлыя пятна различныхъ оползней выше гранитной осыпи.

Логъ Акъ-джаръ, знакомый мнѣ еще съ 1875 г., былъ однимъ изъ красивѣйшихъ; сплошь заросшій густымъ и разнообразнымъ лѣсомъ, онъ, съ одной стороны, суживаясь, круто спускался къ Аксаю, а съ другой—раздѣляясь на двѣ вѣтви, оканчивался вверху котловинообразнымъ расширеніемъ, замыкавшимся высокими (до 7000 ф.), крутыми, но мягкими, частью травянистыми, а частью лѣсистыми склонами; только у самой вершины обѣихъ вѣтвей склоны были нѣсколько обнажены влѣдствіе небольшихъ



промоинъ въ разрушенномъ гранитѣ, превратившемся мѣстами въ песчанистую элювиальную глину, почти бѣлаго цвѣта. Обнаженія этого элювія выдѣлялись свѣтлыми плѣшивинами среди зелени. Въ настоящее время отъ прежняго ландшафта не осталось слѣда, онъ измѣнился до неузнаваемости. Склоны сдѣлались совершенно обнаженными, каменистыми и почти отвѣсными, лѣсъ остался только на вершинѣ узкаго длиннаго гребня, раздѣляющаго обѣ вѣтви Акъ-джара и сплошь изборожденнаго большими трещинами и оползнями на обоихъ склонахъ. Дно лога занято громадными валунами гранита, діорита и глинисто-слюдяного сланца, накопленія которыхъ подняли дно мѣстами на 80 и даже на 100 метр.; вслѣдствіе этого, не только отъ бывшаго лѣса, но даже и отъ озера не осталось никакихъ признаковъ; словомъ, вмѣсто цвѣтущей, красивой горной долинки, получилась каменистая дикая пустыня, имѣющая поразительное сходство съ современными моренами. Громадныя накопленія гранитныхъ глыбъ произошли вслѣдствіе ужасныхъ обваловъ въ вершинахъ обѣихъ вѣтвей Акъ-джара, состоящихъ преимущественно изъ разрушеннаго біотитоваго гранита съ небольшими жилами плагиоклазовой породы—слюдяного діорита и граничащаго съ выходами кристаллическихъ сланцевъ, преимущественно глинисто-слюдяного, хлоритоваго и кремнистаго, частью какъ бы зачемленныхъ среди гранитовъ, но большею частью прилегающихъ къ нему съ юга и обнажающихся въ обрывѣ южной вѣтви.

Область или площадь обвала (собственно область питанія обвала, по Гейму) въ сѣверной вѣтви представляетъ подковообразную форму, мѣсто изгиба которой приходится почти посрединѣ между крыльями, направляющимися параллельно длинѣ лога, на  $\frac{1}{2}$  версты каждая, такъ что вся длина обрыва около 1 вер.; средняя и самая высшая часть этой площади начинается на высотѣ 6,000 ф. на склонѣ Акъ-джарской вершины, имѣющей 7100 ф. высоты. Отъ верхняго, точно обрѣзаннаго края, площадь обрыва круго, съ угломъ до 60—70°, спускается внизъ, къ подошвѣ горы до высоты 5300 ф., а ниже болѣе полого и оканчивается на высотѣ около 5150 ф., имѣя общую длину около  $\frac{3}{4}$  версты. Поверхность ея совершенно сглажена, выравнена, особенно въ средней части, и покрыта только продольными бороздами, произведенными треніемъ опускавшейся части; вообще она не отличается отъ обыкновенной поверхности сдвига, за каковой собственно и слѣдуетъ считать происшедшій обвалъ, т.-е., что здѣсь почти по вертикальнымъ трещинамъ произошелъ поверхностный сдвигъ, причемъ опустившаяся часть не сохранилась, а не встрѣчая препятствія, свободно скатилась и рассыпалась на отдѣльные куски, заполнившіе логъ Акъ-джаръ. Слѣдующій рисунокъ (фиг. 39) даетъ понятіе о площади этого обрыва-сдвига. Ниже главнаго обрыва на склонахъ той же вѣтви произошло еще нѣсколько второстепенныхъ, особенно на правомъ склонѣ, гдѣ, благодаря мощному наносу, вмѣстѣ съ глыбами гранита, слетѣла масса земли, такъ что въ одной боковой лоцинѣ получилась даже небольшая ошпынина (фиг. 40).

Подобный же характеръ имѣетъ обвалъ и въ южной вѣтви, но тамъ площадь его начинается ниже на высотѣ 5600 ф., имѣетъ форму чаши (фиг. 41), окружностью около

версты, и спускается также круто, въ видѣ плоскости сдвига, до высоты 5000 ф., такъ что длина его немного болѣе  $\frac{1}{2}$  вер., а высота 600 ф. Такъ какъ на склонахъ южной вѣтви выступаютъ черные сланцы, а также развиты наносы, то гранитныя глыбы здѣсь маскируются ими, особенно при соединеніи съ гранитною осыпью сѣверной вѣтви (фиг. 42).

Описанныя площади обваловъ или области питанія ихъ, величиною въ сѣверной вѣтви около 180,000 кв. м., а въ южной около 170,000 кв. м., представляютъ въ сущности и пути обвала, такъ какъ, гдѣ кончаются они, начинается область отложенія. Интересно, что у самой подошвы или въ вершинѣ осыпи гранитныя глыбы развиты мало сравнительно съ песчано-глинистымъ наносомъ, который составляетъ главную массу

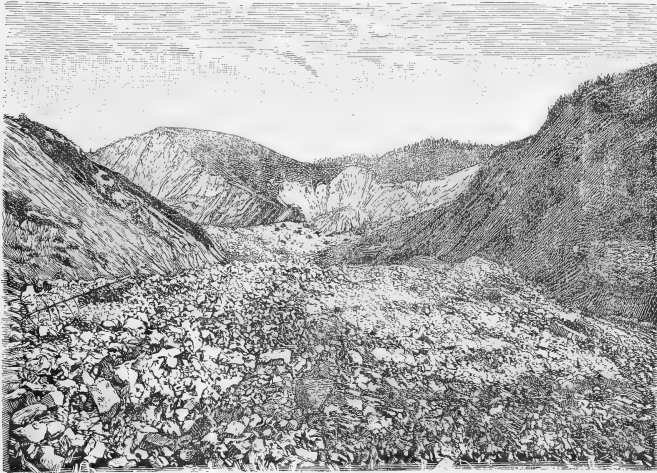
Фиг. 39.



осыпи, образуя весьма мощный навалъ, опускающійся внизъ постепеннымъ, довольно пологимъ и ровнымъ склономъ, длиною около 150 м.; спустившись на 30 м., склонъ этотъ оканчивается террасою въ 12 м. высотой и около 40 м. длиною, съ паденіемъ склона около  $35-40^\circ$ , отъ подножія которой разстилается совершенно ровная площадка, около 4000 кв. м., по характеру поверхности совершенно тождественная съ гладкими тапырами туркестанскихъ пустынь; она покрыта какъ бы только что высохшимъ весьма тонкимъ, темно-сѣрымъ глинистымъ иломъ, который мѣстами еще не совершенно окрѣпъ и едва проходимъ. Очевидно, площадка эта была недавно покрыта водою и очень можетъ быть представляла ложе озера, которое вѣроятно образовалось отъ завала Акъ-джарскаго ручья, но затѣмъ прорвалось и осушилось, оставивъ тонкій

глинистый осадокъ, прикрывшій всё неровности; по увѣренію же нашихъ проводниковъ, площадка эта находится какъ разъ на мѣстѣ бывшаго Акъ-джарскаго озера. На нижнемъ концѣ глинистой площадки находится валъ изъ гранитныхъ глыбъ, мѣстами прорванный ручейками; за нимъ слѣдуетъ вторая каменная терраса въ 16 м. высотой и длиною склона до 50 м., падающаго около 35°. Отсюда осыпь становится исключительно гранитною и мощность ея быстро и значительно возрастаетъ, такъ что слѣдующій внизу валъ возвышается надъ предыдущею террасою почти на 40 м. и даже на 15 м. надъ поверхностью вышеописаннаго ложа озера, несмотря на то, что это послѣднее лежитъ выше по долинѣ, вообще весьма крутой. Если же принять во вниманіе, что какъ въ вышележащихъ террасахъ, такъ въ такрыобразной глинистой

Фиг. 40.



площадкѣ и выше ея въ вершинѣ осыпи, толщина осыпи болѣе 50 м., о чемъ можно судить по окраинамъ ея и по новымъ рывинамъ, проложеннымъ ручьями, да если еще принять въ расчетъ значительную крутизну первоначальнаго ложа Акъ-джарской долины, то очевидно, что на половинѣ длины лога мощность гранитнаго навала гораздо больше 100 м. Далѣе внизъ, по направленію къ Аксаю, осыпь довольно правильно и постепенно понижается (см. планъ и профиль долины Аксаю), очевидно слѣдя отчасти первоначальному уклону лога. Она состоитъ изъ свѣжихъ остроугольныхъ осколковъ различныхъ гранитовъ, діоритовъ и отчасти сланцевъ; послѣдніе, впрочемъ, образуютъ особую полосу, на лѣвой сторонѣ; осколки различной величины и достигаютъ размѣровъ глыбъ въ 10—15—20 куб. м., вѣсомъ до 1000 — 2000 — 3000 пуд. и такіе

являются преобладающими на большей части длины осипи. Слѣдующій рисунокъ (фиг. 39—40) изображаетъ часть поверхности гранитной осипи, на которой видны громадныя глыбы гранита. При такомъ составѣ поверхность осипи въ высшей степени не-

Фиг. 41.



ровная и движеніе по ней до крайности затруднительно даже пѣшкомъ, для верхнихъ же невозможно. Кромѣ неровностей, производимыхъ собственно глыбами гранита, наблюдаются небольшія неправильныя углубленія и гряды, которые не только вблизи,

Фиг. 42.



но даже издали придаютъ осипи бугристый характеръ, на подобіе того, какъ это почти всегда замѣчается на обширныхъ моренахъ. Бугристость эта, какъ и на оплывинахъ, вѣроятно зависитъ отъ боковыхъ второстепенныхъ обваловъ, которые мѣстами увели-

чивали главный, а отчасти, напр., на концѣ осыпи въ долину Акса, можетъ быть, отъ неравномерной скорости полета камней различной величины, причемъ камни, скатывавшіеся медленнѣе, составляли задержки, а слѣдовательно центры скопленія и образование холмовъ и грядъ на поверхности осыпи.

То обстоятельство, что вершина ея преимущественно состоитъ изъ песчано-глинистаго матеріала съ относительно небольшимъ количествомъ каменныхъ глыбъ, сплошное развитіе которыхъ начинается только отъ второй террасы, мнѣ кажется, возможно объяснить тѣмъ, что при разрушеніи прежде всего свалились верхніе рыхлые наносы, а затѣмъ уже нижележація скалы. Рыхлые наносы уже по своимъ свойствамъ, особенно не будучи размягченными водой, которой, судя по существующимъ ручьямъ, здѣсь не должно быть много, не могли, встрѣтивъ препятствія, пройти значительный путь и потому скопились главнымъ образомъ у подошвы склона или въ вершинѣ осыпи; отчасти они, вѣроятно, способствовали засыпанію бывшаго озера. Летѣвшія за ними каменные глыбы отчасти прямо со склона перелетали вершину осыпи, а отчасти скольженіемъ по ней спускались далеко ниже ея и только немногія изъ нихъ попали на самую вершину, да и то можетъ быть не столько при самомъ сильномъ ударѣ 28 мая, сколько при послѣдующихъ болѣе слабыхъ; тѣмъ болѣе, что плоскость обвала даже во время нашего изслѣдованія въ августѣ не пришла еще въ равновѣсіе и даже безъ всякихъ подземныхъ ударовъ продолжала осыпаться, такъ что приближаться къ ней было далеко не безопасно. Полетъ такихъ громадныхъ камней, которые, можетъ быть, вначалѣ были еще больше, по весьма крутому логу, очевидно былъ страшной силы и быстроты, о чемъ можно судить уже изъ того, что каменная осыпь, низвергаясь, прошла не только поперекъ долины Акса, шириною до 300 м., но отчасти спустилась внизъ по ней, стѣснивъ оплывину, и вылетѣла на крутой (до 30°) противоположный склонъ Акса до высоты 40 м., а отдѣльные камни до высоты 70—80 м. надъ дномъ долины. Каменная осыпь ударила съ такою силою о лѣвый склонъ Акса при заворотѣ его къ NO-у, что оставила на склонѣ слѣды напора въ видѣ трещинъ, бороздъ и, такъ сказать, втиснутыхъ въ рыхлый наносъ свѣжихъ обломковъ гранита. Движеніе этой массы камней ясно обваруживается продольными полосами темноцѣтныхъ кристаллическихъ сланцевъ, которые тянутся вдоль осыпи преимущественно у ея лѣваго бока, т.-е. гдѣ наиболѣе развиты эти породы, хотя меньшей величины полосы находятся и ближе къ срединѣ. Эта петрографическая обособленность матеріала осыпи, столь характерная для моренъ, настолько увеличиваетъ и безъ того уже большое сходство внѣшняго вида Акъ-джарской каменной осыпи съ громадными современными моренами, что между ними трудно указать сколько-нибудь существенную разницу.

Принимая среднюю мощность этой осыпи только въ 60 м., среднюю ширину въ 200 м., (она варьируетъ отъ 75 до 325 м.), то при длинѣ ея отъ подошвы обвала до противоположнаго склона Акса, около 2000 м., масса свалившихся камней и только отчасти рыхлаго наноса въ сѣверной вѣтви Акъ-джара составляетъ почти 24.000.000

куб. м., а вмѣстѣ съ ближайшими оплывинами на правомъ склонѣ около 28.000.000 куб. мет.

Въ южной вѣтви каменная осыпь имѣетъ совершенно такой же моренообразный характеръ, какъ и осыпь сѣверной вѣтви, но нижняя часть ея маскируется оплывинами. Общая масса ея меньше и не превышаетъ вмѣстѣ съ оплывинами 12.000.000 куб. м. Следовательно, всего въ логѣ Акъ-джара свалилось около 40.000.000 куб. м. камней. Если положить среднюю высоту паденія обваловъ хотя бы только 50 саж., то все-таки они произвели громаднѣйшую механическую работу.

Такимъ образомъ, замѣчательный Акъ-джарскій обвалъ съ одной стороны даетъ возможность, хотя бы приблизительно, опредѣлить ту громадную механическую работу, которая выражается множествомъ оползней и обваловъ, произведенныхъ землетрясеніемъ 28 мая, съ другой, представляетъ ясное доказательство силы удара, разрушившаго такую массу твердыхъ породъ; съ третьей, наконецъ, подтверждаетъ наше предположеніе, высказанное выше, что наисильнѣйшій ударъ сосредоточивается на высотѣ отъ 5000 до 6000 ф.

Сравнивая Акъ-джарскую каменную осыпь какъ съ сосѣдними, такъ и раньше описанными оплывинами, нельзя не замѣтить въ нихъ, съ одной стороны, нѣкоторыя общія черты, а съ другой—и существенную разницу. Сходство ихъ заключается въ процессѣ образованія, т.-е., то и другое представляютъ потоки, но каменные осыпи быстрыя, можетъ быть, моментальныя и быстро прекратившіяся, тогда какъ оплывины послѣ быстрого первоначальнаго движенія продолжали еще медленно двигаться; это уже обусловило разницу въ строеніи ихъ, которая еще болѣе зависитъ отъ матеріала. Оплывины, какъ мы уже много разъ указывали выше, во многомъ аналогичны ледниковымъ потокамъ, особенно по расположенію и условіямъ происхожденія трещинъ; каменные же осыпи, напротивъ, отличаются замѣчательнымъ сходствомъ съ производными ледниковъ, т.-е. моренными накопленіями; это сходство гораздо сильнѣе, нежели оплывинъ съ ледниками; отличить ихъ можно только по отсутствію выпуклыхъ шлифованныхъ поверхностей въ долинѣ и ледниковой штриховки на валунахъ, т.-е., по элементамъ механической дѣятельности ледника, но не по формѣ и расположенію самихъ валуновъ. Если представить себѣ, что Акъ-джарская осыпь заростетъ, многіе валуны вывѣтрятся, склоны сгладятся и тоже покروются травой или лѣсомъ, то едва ли найдется наблюдатель, который бы усумнился принять такую замаскированную осыпь за древнюю морену, и я полагаю, что не мало такихъ псевдо-моренъ въ Тянь-шанѣ приводятся нѣкоторыми путешественниками въ доказательство древняго ледниковаго періода. Всѣ такого рода сходныя явленія, производимыя, однако, совершенно различными агентами, въ высшей степени поучительны; они наглядно и убѣдительно доказываютъ, что природа самыми разнообразными путями можетъ достигать одинаковыхъ результатовъ; несходные физико-геологическіе дѣятели производятъ сходные результаты, и наоборотъ; поучительно это еще и въ другомъ отношеніи, а именно: какъ легко

геологу впасть въ ошибку при истолкованіи совершенно правильно и точно наблюдаемыхъ фактовъ.

Акь-джарскими обвалами, однако, не кончились слѣды разрушенія въ долинь Акса, хотя выше Акь-джара они замѣтно уменьшаются. За каменною осыпью вверхъ снова появляются оплывины; но они не представляютъ ничего новаго, за исключеніемъ развѣ того, что во очію доказываютъ наше объясненіе происхожденія нѣкоторыхъ трещинъ и холмовъ слияніемъ въ главной долинь различныхъ оплывинъ, извергнутыхъ изъ отдѣльныхъ боковыхъ логовъ; это прекрасно видно на оплывинахъ лѣваго склона Акса въ  $\frac{1}{2}$  верстѣ выше каменной осыпи (см. карту Акса). Наибольшія оплывины находятся въ ущельѣ Калмакдынь-сай, длиною до 1500 м., шириною 50 м., и мощностью до 20 м., т.-е. около 1.500,000 куб. м. Почти въ среднѣи длины ея находится небольшой обвалъ въ гранитахъ, какъ разъ противъ вершины обвала южной вѣтви, въ Караколѣ до 300,000 куб. м. и пр. Всѣ оплывины выше Акь-джара могутъ быть приблизительно оцѣнены въ 6.000,000 куб. метр., не считая мелкихъ.

Г. Бруеницынъ прослѣдилъ, что слѣды разрушенія продолжаются выше р. Когашикъ въ видѣ небольшихъ оползней, оборвавшихся отъ обнаженій массивныхъ глыбъ гранита и небольшихъ трещинъ на крутыхъ склонахъ, проникающихъ только черноземный растительный слой и подстилающей его элювій. За областью лѣсовъ слѣды эти совершенно исчезаютъ, т.-е. на той же высотѣ въ 10,000 ф., какъ и въ долинь Большой Алматинкѣ.

Громадные оползни, обвалы, оплывины и осыпи, загромоздившіе долину Акса, при своемъ паденіи во многихъ мѣстахъ запрудили ее, образовавъ временныя плотины и скопы воды за ними, напр., выше Акь-джарской осыпи и бывшей пасѣки Бекбаева, заваленной осыпью, также выше лога Джитымъ-сай, и пр., вслѣдствіе чего цѣлый день до 11 час. вечера 28 мая ниже оплывинъ въ Аксаѣ не было воды; только въ ночь съ 28 на 29 мая Аксай прорвалъ запрудившія его плотины и вынесъ съ громадною быстротою массу скопившейся воды вмѣстѣ съ грязью, которая образовала своего рода оплывину, очень жидкую и прошедшую даже до Ташкентской почтовой дороги, т.-е. верстѣ 15 вѣвъ горъ, гдѣ, разлившись на широкой площади, заполнила всѣ канавы, лога до одного метра глубиною, снесла мосты и вообще испортила дорогу на протяженіи около 8 верстѣ настолько, что сообщеніе между Вѣрнымъ и Каскелемъ прекратилось. Интересно, что въ этой и безъ того болотистой мѣстности во время землетрясенія образовалось множество трещинъ, съ различнымъ направленіемъ, но преимущественно параллельно дорогѣ и горамъ; по рассказамъ одного казака, ѣхавшаго 28 мая изъ Вѣрнаго въ Каскеленъ, во время колебанія, трещины на его глазахъ раздвигались и сдвигались и при этомъ выдавливали изъ себя воду въ видѣ фонтановъ до 2-хъ саж. высоты; въ другихъ трещинахъ вода хлопотала, какъ бы отъ кипѣнія. Въ одномъ мѣстѣ у дороги, по сообщенію В. Ф. Ошанина <sup>1)</sup>, „земля, изборожденная трещинами,

<sup>1)</sup> Туркест. вѣд. Июль, 1887 г.

опустилась на нѣсколько футов“. Къ сожалѣнію, во время нашего проѣзда въ августѣ все это уже было покрыто глиной.

Прорывъ грязной воды 29 мая въ Аксаѣ, какъ и въ другихъ долинахъ, напугалъ кочевниковъ, которые бросились въ Вѣрный съ крикомъ „вода идетъ“, причинившимъ страшный недоразумѣніа во время павики въ Вѣрномъ, повторившейся на слѣдующій день, 30 мая, когда показались изъ горъ медленно-сползавшія оплывины Джаманъ-булака, Тасты-булака и Аксаа.

Всѣ оползни и обвалы очевидно образовались одновременно, въ моментъ наисильнѣйшаго удара въ 4 ч. 35 м. утра 28 мая, но скорость сползанія разрушеннаго матеріала была различна въ зависимости отъ массы и качества его. Во всякомъ случаѣ, въ первыя минуты движеніе было весьма быстрое, но затѣмъ, напр., осыпи остановились, а оплывины продолжали сплзать со скоростью около 150 саж. въ сутки, какъ сообщаютъ очевидцы. За начальную быстроту и одновременность образованія разрушеній, кромѣ вышеприведенныхъ соображеній, свидѣтельствуютъ еще нѣкоторыя данныя о гибели людей. Джитымъ-сайская оплывина поглотила нѣсколько человѣкъ и домъ съ хозяйственными пристройками; Акъ-джарская осыпь уничтожила пасѣбу и домъ Аманъ-бая Бекбаева; выше погибло много лошадей. По свѣдѣніямъ, собраннымъ г. Брусницынымъ изъ разказовъ кочевниковъ и родственниковъ погибшихъ, поглощено въ долині Аксаа до 60 человѣкъ; изъ нихъ 12 русскихъ и 48 киргизъ. Между прочимъ, погибли полѣсовщикъ Измаденовъ съ женою и двумя дѣтьми, полѣсовщикъ Сыромятновъ, татаринъ, владѣлецъ пасѣки Бекбаевъ со всею семьею, двумя гостями и семьею женатаго сына (8 человѣкъ). Уцѣлѣлъ только пасѣчникъ, старикъ лѣтъ 70, ушедшій во время катастрофы на вышепомянутую сохранившуюся пасѣбу. Погибель всѣхъ этихъ несчастныхъ произошла одновременно въ разныхъ частяхъ долины Аксаа и притомъ настолько быстро, что даже бодрствовавшіе люди и животныя не имѣли времени спастись. Въ моментъ катастрофы киргизы, находившіеся на вершинѣ одной изъ возвышенностей праваго берега, видѣли, какъ выбѣгали люди изъ домовъ въ долині Аксаа и въ слѣдующій моментъ исчезали вмѣстѣ съ домами. Разказываютъ такой трагическій случай: одинъ русскій на глазахъ киргизъ взвалилъ на спину свою жену и съ двумя дѣтьми на рукахъ бѣжалъ по склону вверхъ болѣе полуверсты, изнемогая и падая на пути, наконецъ, онъ окончательно свалился, обезсилѣвъ, и въ это время оплывина погребла его за-живо со всею семьею.

Нѣкоторыя изъ этихъ жертвъ вполнѣ вынесены рѣкою, напр., въ Джитымъ-сайской оплывинѣ обнаружено четыре сильно измятыхъ трупа, изъ которыхъ одинъ, представлявшійся только верхнею половиною (голова и туловище съ руками), настолько исковерканъ, что нельзя было даже опредѣлить національность; мѣстами попадались трупы барановъ, козъ, коровъ, лошадей; многіе изъ нихъ выкопаны и на мѣстѣ растерзаны хищниками. „Крайне грустно было,—сообщаетъ г. Брусницынъ,—встрѣтить здѣсь тещу Измаденова, ежедневно приходящую на это страшное кладбище оплакивать



остатки своей дорогой семьи, но неимѣющую возможности даже опредѣлить пунктъ, гдѣ погибла семья вмѣстѣ съ домомъ, — такъ измѣнилась конфигурація мѣстности“.

Катастрофа на Аксаѣ, по рассказамъ, сопровождалась страшнымъ подземнымъ гуломъ, который также предшествовалъ колебанію, вызвавшему разрушенія.

Въ долині Каскелена, лежащей къ западу отъ Аксая, разрушенія уже значительно уменьшаются и по интенсивности могутъ быть сравнены съ разрушеніями на Бель-булакѣ. Они осмотрѣны гг. Ф. П. Брусницынымъ и еще раньше В. Ф. Ошанинымъ, отъ которыхъ я и заимствую нѣсколько данныхъ. Болѣе замѣтныя разрушенія, считая сверху, начинаются отъ мраморнаго заведенія Ласковскаго. Характеръ ихъ тотъ же, что и на Аксаѣ, т.-е. оползни и трещины, только въ меньшихъ размѣрахъ и притомъ на болѣе крутихъ склонахъ; въ самомъ заводѣ разрушились только постройки изъ сырцоваго кирпича, тогда какъ деревянныя потерпѣли меньше. На заводѣ, также какъ и въ Вѣрномъ, сначала были замѣчены незначительные, предупредительные удары, за которыми, спустя нѣсколько минутъ, послѣдовалъ „подземный громъ“, сопровождающийся сотрясеніемъ. Разрушеніе происходило при страшномъ гулѣ и продолжалось минуты 4; подземные удары, болѣе слабые, продолжались съ перерывами цѣлый день 28 мая вмѣстѣ съ гуломъ, напоминавшимъ грохотъ падающихъ камней. Изъ боковыхъ ущелій вытекли оплывины, загромодившія русло Каскелена. Оплывина изъ Мослоцовской щели завалила избушку съ двумя взрослыми и тремя дѣтьми; въ ущельѣ Караглинскомъ убило киргиза, распутывавшаго лошадь, чтобы спастись на ней отъ обваловъ. Одинъ казакъ ѣхалъ верхомъ по долині Каскелена, на него свалился оползень и захватилъ ноги лошади, такъ что она не могла двинуться съ мѣста; казакъ соскочилъ и взобрался на сосѣдній склонъ, а лошадь на его глазахъ была погребена подъ оплывиной. Киргизъ, захваченный оползнемъ, двигался на немъ внизъ по ущелью версты 3, перебѣгая съ мѣста на мѣсто, и затѣмъ, когда оплывина остановилась, благополучно сошелъ съ нея; это обстоятельство также указываетъ на достаточную густоту оплывинъ. Кромѣ Мослоцовской, Караглинской, большая оплывина находится въ логѣ Канлы-сай до 400,000 куб. м. Такая же оплывина образовалась ниже моста и въ другихъ мѣстахъ; толщина ихъ, по свидѣтельству Ошанина, различна и доходитъ до 20 м.; многія изъ нихъ запрудили рѣку, а въ одномъ лѣвомъ боковомъ ущельѣ, на протяженіи нѣсколькихъ верстъ, все сплошь покрыто сползшею массою грязи, которая, затвердѣвъ, образовала черезъ все ущелье мостъ; подъ нимъ ручей прорылъ себѣ новое русло. Мостъ этотъ мѣстами прорытъ вертикальными, воронкообразными отверстіями. Одинъ изъ оползней, подъ давленіемъ верхнихъ массъ, переползъ изъ ямы черезъ грядку, отдѣлявшую эту послѣднюю отъ ущелья. Особенно любопытны оползни, происшедшіе на торфяниковой почвѣ <sup>1)</sup>, вмѣстѣ съ опусканіемъ верхнихъ слоевъ; отъ давленія ихъ здѣсь иногда происходило вздутіе нижнихъ частей; съ другой стороны, въ нѣкоторыхъ мѣстахъ произошло пониженіе почвы вслѣдствіе того,

<sup>1)</sup> Корреспонденція Ошанина въ Турк. вѣд., Июль, 1887 г.

что обвалившіяся массы выдавили воду, которую въ большомъ количествѣ былъ пропитанъ торфяникъ. Эти вздутія и пониженія, обязанныя своимъ происхожденіемъ, главнымъ образомъ, губчатому строенію торфяниковъ, производятъ на первый взглядъ впечатлѣніе проваловъ и внезапныхъ поднятій почвы“. Вся масса оплывинъ, къ сожалѣнію, не опредѣлена точно, но, во всякомъ случаѣ, по всей долинѣ Каскелена ихъ не менѣе 2.000,000 куб. м.

Кордонное зданіе на Каскеленѣ, хотя получило трещины, но не развалилось, и при концѣ ущелья Каскелена, гдѣ выступаютъ красные кварцевые порфиры, слѣдовъ разрушенія уже совсѣмъ нѣтъ.

Если допустить, что всѣ мелкія разрушенія между Каскеленомъ и Узунъ-агачемъ составляютъ не болѣе 1.000,000 куб. метровъ и столько же на восточномъ концѣ между Бель-булакомъ и Исыкомъ, то этимъ исчерпывается масса разрушенныхъ породъ на сѣверномъ склонѣ Заилійскаго Алатау, равная въ общей суммѣ и круглымъ числомъ около 440,000,000 куб. м. или около 67.207,000,000 пудовъ, что составляетъ около  $\frac{1}{40}$  части горы Монблана, принимая послѣднюю въ 18 миллиардовъ куб. м. Если допустить высоту паденія ихъ только 10 саж.,—громадное же большинство сорвалось съ болѣе значительной высоты,—то и тогда получается громадная механическая работа, равная почти 4.700.000.000,000 пудо-футамъ.

## ПРИЛОЖЕНИЕ КЪ ГЛАВѢ Ш.

Въ заключеніе фактической части этого отчета приведемъ перечень вѣрненскихъ землетрясеній съ 28 мая 1887 г. по январь 1889 г., а также нѣкоторые данныя, собранныя гг. Ляминамъ и Штедингомъ, о Вѣловодскомъ землетрясеніи 22 іюля 1885 г. (ночью 2 ч. 25 мин.), которое, повидимому, было не слабѣе Вѣренскаго 28 мая. Разрушительныя послѣдствія его были изучены только въ самыхъ общихъ чертахъ и на небольшомъ районѣ горнымъ инженеромъ Игнатьевымъ<sup>1)</sup>; такимъ образомъ, наши свѣдѣнія служатъ только дополненіемъ къ прежде сообщеннымъ г. Игнатьевымъ.

### Дополнительныя свѣдѣнія о Вѣловодскомъ землетрясеніи 22 іюля 1885 г.

Станція Узунъ-Агачъ. Въ 2 часа ночи 22 іюля было нѣсколько сильныхъ подземныхъ толчковъ; разрушеній не было.

Станція Таргакская. Было слабое землетрясеніе; разрушеній не было.

Станція Отарская, Курдайская, Сюгатинская—свѣдѣній о землетрясеніи нѣтъ, вслѣдствіе отсутствія очевидцевъ.

Станція Константиновская. Во 2-мъ часу ночи съ 21 на 22 іюля было сильное землетрясеніе, повторявшееся въ теченіе 3-хъ дней; отъ перваго толчка попадали заборы и былъ слышенъ шумъ, шедшій какъ бы отъ Пишпека.

Г. Пишпекъ. Въ 35 верстахъ отъ города на SO, на сыроваренномъ заводѣ Фетисова, расположенномъ на высотѣ 9000 ф. (опредѣлено гипсометромъ) по р. Аламединкѣ съ 14 по 17 іюля каждый

<sup>1)</sup> См. Отчетъ Игнатьева въ извѣст. Имп. Русск. Геогр. Общ. за 1886 г.

день были незначительные толчки; 17 июля утром довольно чувствительный толчек, послѣ котораго г. Фетисовъ повѣсилъ маятникъ; маятникъ этотъ при послѣдующихъ толчкахъ качался съ NW на SO. 22 июля во 2-мъ часу ночи произошелъ настолько сильный толчекъ, что стѣны завода, прислоненнаго къ выемкѣ въ горѣ, выдвинуло на сѣверъ. Трубы упали на NW, и послѣдніе кирпичи отлетѣли на 11 саж., при высотѣ зданія въ 1½ саж.

Послѣ 22 июля подземные удары повторялись ежедневно въ теченіе нѣсколькихъ мѣсяцевъ.

Въ самомъ городѣ толчковъ, предшествовавшихъ сильному землетрясенію, не ощущалось; самое землетрясеніе чувствовалось слабѣе, чѣмъ въ горахъ. Въ городѣ разрушено нѣсколько зданій, между прочимъ домъ уѣзднаго начальника, зданіе городского училища и нѣкоторые другія. Въ настоящее время всѣ зданія возобновлены.

Верстахъ въ 12 къ югу отъ Нишпека по р. Ала-Арча замѣтна большая оплывина, которая сползла съ высоты 40 метр. и заняла площадь въ 120 метр. вдоль долины, 20 м. поперекъ и 4 м. высоты. Вообще съ самаго въѣзда въ ущелье замѣтны оплывины, наибольшее число ихъ находится на западномъ склонѣ долины, но самая большая по величинѣ, о которой говорилось раньше, расположена на восточномъ склонѣ.

Всѣ оплывины, находящіяся въ ущельѣ Ала-Арча, относятся къ землетрясенію 1885 г., и большинство изъ нихъ частью размыты, частью замаскированы.

По словамъ кочующихъ здѣсь киргизъ, обвалы замѣчались до снѣжной линіи, и на высотѣ альпійскихъ луговъ было задавлено много скота и нѣсколько кочевниковъ.

По теченію р. Наурузъ обваловъ въ настоящее время не замѣтно. Въ подземныхъ выработкахъ, проведенныхъ въ соленосныхъ глинахъ на высотѣ 3400 ф. обваловъ не было, хотя работы ведутся самымъ несовершеннымъ способомъ и безъ крѣпленія. Изъ этого можно заключить, что землетрясеніе на Наурузѣ было слабѣе, чѣмъ на Ала-Арчѣ, гдѣ произошли обвалы въ метаморфическихъ сланцахъ.

Станція Сукулдукъ. 22 июля были разрушены всѣ дома. Гуль передъ землетрясеніемъ направлялся какъ будто отъ горъ.

Селеніе Вѣловодское. Въ ночь съ 21 на 22 июля, около 2 часовъ, слышенъ былъ сильный шумъ, шедшій отъ Нишпека, послѣ котораго началось настолько сильное колебаніе почвы въ теченіе 1 минуты, что, по словамъ сельскаго старосты, вербы наклонялись до земли. Въ это время въ селеніи были разрушены всѣ дома и церкви; въ горахъ произошли обвалы и оплывины, такъ что р. Аксу совершенно запрудило. Прорвавшаяся чрезъ нѣсколько времени вода была мутная и до настоящаго времени (29 августа 1887 г.) еще не очистилась совершенно. По улицамъ селенія образовались трещины до 2-хъ четв. шириною, изъ которыхъ показалась вода и бѣлый песокъ, каковаго раньше въ этой мѣстности не видали. Послѣ 22 июля съ недѣлю были сильные толчки, а слабые продолжались около года.

Станція Карабалты. 22 июля въ 2 ч. ночи былъ сильный подземный ударъ. Изъ 60 домовъ уцѣлѣло только пять, остальные развалились. Одна трещина въ селеніи перебѣгла колодезь, откуда показалась вода и мелкій бѣлый песокъ. Прямо противъ селенія съ горъ сползла большая оплывина, которая, однако, остановилась, не доходя до самаго селенія. Передъ землетрясеніемъ въ горахъ слышался сильный шумъ, похожій на пушечную пальбу. Послѣ 22 июля слабые удары повторялись въ теченіе 3-хъ мѣсяцевъ.

Станція Чакталъ. 22 июля въ 2 ч. ночи въ горахъ былъ слышенъ шумъ, какъ бы бѣжали экипажи; по прекращеніи шума началось землетрясеніе, продолжавшееся около 4 минутъ. Съ крышъ падали трубы, дома дали трещины. Послѣ 22 июля землетрясеніе повторялось нѣсколько разъ, но слабѣе.

Станція Мерке. 22 июля въ 2 ч. ночи былъ сильный шумъ, послѣ котораго началось волнообразное движеніе почвы, продолжавшееся 5 минутъ. Дома дали незначительныя трещины. Черезъ 3 дня землетрясеніе снова повторилось.

Станція Тарты. 22 іюля было слабое землетрясеніе безъ разрушеній. Станція расположена на лёсѣ.

Станція Кумь-Арыкъ. 22 іюля въ 2 ч. ночи было довольно сильное землетрясеніе. Дома дали трещины. По словамъ киргизъ, съ горъ слетѣло нѣсколько камней. Станція расположена на галлякахъ.

Станція Молдыбаевская. 22 іюля былъ слышенъ шумъ и довольно чувствительное сотрясеніе почвы. Въ горахъ падали камни.

Станція Акыр-Тюбе расположена на толстомъ лёсѣ. Землетрясенія не слышали.

Станція Акъ-Чулакъ. 22 іюля было довольно сильное землетрясеніе, но безъ разрушенія.

Станція Учъ-Булакъ. Землетрясенія не замѣчали.

Станція Ауліз-Ата. 22 іюля было слабое сотрясеніе.

Станція Головачевская. 22 іюля ночью было чувствительное сотрясеніе почвы, тоже и западнѣе на ст. Терсы, Чакъ-пакъ, Тюлько-баиъ, но западнѣе свѣдѣній нѣтъ. Такимъ образомъ и Вѣловодское землетрясеніе имѣло обширную область распространенія, но къ сожалѣнію границы ея остались неопредѣленными, и едва ли уже возможно возстановить ихъ при рѣдкомъ и часто избѣгающемся населеніи.

Землетрясеніе 22 іюля 1885 г., разрушившее Карабалты, Вѣловодское и Сукулукъ, отразилось на широкомъ пространствѣ, съ востока на западъ, отъ Джаркента до Ташкента и дальше, по крайней мѣрѣ всего на 1000 верстъ. Землетрясеніе произвело поврежденія въ Пишпекѣ, Токмактѣ, по Буямскому ущелью и въ области озера Иссыкъ-куль.

23 іюля, въ 4 часа утра, удары подземные продолжались, но безъ особыхъ поврежденій, 24 іюля въ 2¼ часа ночи то же; 27 ночью то же; 29 ночью то же.

1 августа были подземные толчки; 11 августа въ 6 часовъ утра легкое, но продолжительное дрожаніе земли въ Вѣрномъ; 17 августа то же; это дрожаніе земли стало съ тѣхъ поръ повторяться часто, а именно, 18 августа въ 11 часовъ вечера и 2 часа 40 мин. ночи; 20—въ 3 ч. 40 м. ночи и 6 час. утра; 21—въ 6 ч. 20 м. утра; 23—въ 3 час. ночи подземные толчки; 25—въ 7 ч. вечера, 2 ч. и 3 ч. 50 м. ночи; 26—въ 12 час. дня; 27—въ 1 ч. 40 м. ночи и 4 ч. 20 м. утра; 28—въ 5 часовъ утра; 29—въ 2 ч. 20 м. ночи и 4 ч. утра; 30—въ 9 час. вечера и въ 3 часа ночи; 1 сентября въ 8 час. вечера и 6 ч. 5 м. утра; 2—въ 1 часъ 20 мин. ночи; 3—въ 2 ч. 35 м. и въ 4 ч. 40 м. ночи. Затѣмъ до 23 сентября сотрясеній земли не было; но въ этотъ день, въ 3 ч. дня ощущался значительный подземный ударъ, слышался подземный гулъ и чувствовалось колебаніе земли. Дрожаніе земли стало повторяться, а именно: 25 сентября въ 1 часъ 40 м. дня было слабое; 26 — въ 10 ч. утра—то же; 27—въ 4 час. ночи и 8 ч. 45 м. утра; 28—въ 4 ч. 20 м. ночи и 7 ч. утра 29—въ 3 ч. 20 м. ночи; 30—въ 2 часа ночи, слабое и продолжительное. За все это время въ центрѣ; землетрясенія, т.-е. въ селѣ Вѣловодскомъ и въ смежныхъ деревняхъ: Карабалтахъ и Сукулукѣ чувствовались всѣ вышеозначенныя землетрясенія гораздо сильнѣе и почти ежедневно.

3 октября опять чувствовалось землетрясеніе тамъ же, въ 2 часа 25 м. дня; 4—въ 8 час. 20 м. утра; 5—въ 2 ч. ночи, а въ 7 час. утра довольно чувствительный толчекъ и колебаніе земли; 7—въ 3 ч. ночи; 10—въ 4 ч. утра; 11—въ 7 ч. утра; 12—въ 1 ч. 45 м. ночи; 13—въ 2 ч. ночи на это число былъ подземный гулъ, колебаніе земли; въ домахъ появились трещины. По силѣ это землетрясеніе считается первымъ послѣ 22 іюля; 14 октября въ 2 ч. и въ 4 часа ночи.

Въ то время, когда въ Пишпекѣ и вообще въ Чуйской долинѣ чувствовались эти землетрясенія и подземные удары, въ Вѣрномъ, 2 и 4-го сентября, также ощущались довольно сильные подземные толчки.

Въ Нарынѣ и Атбашѣ 8 и 9 сентября ощущалось довольно чувствительное землетрясеніе; 10 сентября въ 4 часа утра и 11 числа въ 7 час. утра опять было землетрясеніе въ Нарынѣ. Сильныя поврежденія въ строенияхъ. Также замѣчательно, что въ Чуйской долинѣ, за эти дни, была приостановка землетрясеній.

Обращаемся слова къ Пишпеку; здѣсь было землетрясеніе 14 октября (другое), въ 8 час. 20 м. вечера; 15—въ 1 час. 40 м. ночи; 16—въ 3 часа и 5 час. 10 м. ночи; 18—въ 3 ч. 40 м. ночи былъ слышенъ только подземный гулъ; 10—въ 12 ч. ночи; 20—въ 2 ч. 7 м. ночи; 21—въ 8 ч. вечера; 22—въ 3 ч. 15 м. дня; 23—въ 2 ч. ночи; 2 ноября въ 1 часъ 45 м. ночи ( $\frac{1}{2}$  ч. непрерывно, въ Вѣловодскѣ); 5—въ 10 ч. 15 м. утра, съ сильнымъ колебаніемъ земли. Съ 5 по 27 ноября легкія землетрясенія въ Чуйской долинѣ были почти ежедневны. Затѣмъ на Рождество и новый (1886) годъ по сю сторону р. Чу, ощущались легкія землетрясенія.

### Перечень землетрясеній въ г. Вѣрномъ съ 28 мая 1887 г.

Выше было замѣчено, что удары, начавшіеся 28 мая 1887 г., продолжались почти каждый день и не прекратились еще даже въ концѣ 1888 г. и 1889 г., что видно изъ слѣдующаго перечня, составленнаго по даннымъ завѣдующаго метеорологическою станціею въ г. Вѣрномъ, г. Баума, а также по даннымъ г. П. М. Зенкова, горнаго инженера Ф. П. Брусницына и по корреспонденціямъ Туркестанскихъ Вѣдомостей.

0 первымъ дняхъ катастрофы и ударахъ до 1-го іюня подробно изложено въ 1-й главѣ, поэтому нижеслѣдующій перечень начинается съ 1-го іюня 1887 г.

- 1 іюня. Ночью продолжались толчки, ставовившіеся какъ бы слабѣе днемъ.
- 2 и 3—подземный гулъ, толчки подземные продолжаютъ.
- 4—въ 2 ч. сильный ударъ, въ 10 ч. 40 м., 1 ч. 45 м. и 7 ч. 30 м. очень сильные удары и продолжительная колебанія почвы.
- 5—въ 5 ч. 20 м. сильный толчекъ, далѣе днемъ не слышно ударовъ. Гроза слабая.
- 6—ночью два раза подземные удары, но слабые. Въ 2 ч. 6 м. слабый ударъ. Гроза слабая.
- 7—подземные перекаты. Гроза слабая.
- 8—ночью продолжаютъ перекаты и гулъ подземные. Въ 7 ч. 30 м. два удара. Гроза слабая.
- 10—въ 9 ч. 20 м. сильный толчекъ. Слабая гроза. Ночью удары продолжались.
- 11—утромъ толчки.
- 12—въ 1 ч. легкой толчекъ.
- 13—легкіе удары повторяются изрѣдка.
- 14—въ 2 ч. 40 м. толчекъ сильный и довольно продолжительное колебаніе почвы. Гроза.
- 15—порядочный толчекъ утромъ и ночью толчекъ.
- 19—утромъ легкой ударъ.
- 20—въ 4 ч. толчекъ, въ 9 ч. 10 м. легкой ударъ.
- 21—ночью сильная гроза, въ 9 ч. и 12 ч. повторились удары.
- 23—гроза, удары повторяются.
- 24—гроза, ударъ въ 11 ч. 50 м.
- 25—днемъ былъ слабый толчекъ, также и ночью.
- 26—въ 5 ч. довольно сильный толчекъ и продолжительное колебаніе земли.
- 27—въ 4 часа утра два легкихъ толчка,  $3\frac{1}{2}$  ч. вечера толчекъ.
- 28—въ  $2\frac{1}{2}$  часа утра ударъ слабый, въ 7 ч. вечера—легкій. Гроза.
- 29—предъ разсвѣтомъ три толчка, въ 6 ч. вечера 1 сильный ударъ.
- 30—въ 11 ч. утра одинъ толчекъ, въ  $3\frac{1}{2}$ , 5 и 9 час. толчки.
- 1 іюля. Въ  $8\frac{1}{2}$  утра и днемъ еще толчки, въ 10 и 11 ч. вечера 2 толчка.
- 2—утромъ и днемъ едва замѣтные толчки, въ 8 ч. вечера сильный гулъ, два удара, кирпичи со стѣнъ падали.

- 3—ночью въ 2 ч. легкое, но продолжительное дрожаніе земли; утромъ предъ восходомъ солнца легкіе толчки, а въ 2 час. дня сильное дрожаніе и гуль.
- 4—въ 3 ч. сотрясеніе и гуль.
- 5—въ 1 ч. дня и 7 ч. вечера толчки.
- 6—во 2 часу ночи довольно сильное сотрясеніе съ гуломъ и ударъ въ родѣ выстрѣла, въ 5 часу—легкіе, въ 9 ч. утра—сильные, въ 8 часу вечера легкій толчекъ.
- 7—послѣ полуночи 2 толчка, а также въ 4 и 10 ч. утра.
- 8—въ 5 ч. 10 м.—сильное колебаніе земли.
- 9—въ 3 ч. толчекъ, два раза слышенъ подземный гуль.
- 10—въ 11 ч. дня—легкое, 12 ч. ночи—то же.
- 11—12 ч. 40 м. ночи сильный ударъ съ гуломъ.
- 12—въ 1 часу ночи сильное землетрясеніе, ударъ въ родѣ выстрѣла, гуль. Въ 4 ч. утра легко повторились, на р. Или ночью слышали гуль, въ 12 часу ночи дважды толчки, гуль.
- 13—въ 2 и 3 ч. сильные толчки, строения дрогнули.
- 14—всю ночь было легкое колебаніе, а часу въ 4-мъ довольно сильное, разбудило многихъ; въ 6 ч. вечера гуль, удары, дрожаніе.
- 16—ночью слабое, но продолжительное землетрясеніе, 2 толчка во 2 часу.
- 17—въ 10 ч. утра партіонный офицеръ слышалъ на Куянь-кузѣ сотрясеніе.
- 18—То же почти всю ночь, легкое, въ 5 ч. дрожаніе земли съ гуломъ и затѣмъ толчекъ.
- 19—въ 6 ч. вечера гуль, затѣмъ сотрясеніе отъ горъ.
- 20—въ 3<sup>1</sup>/<sub>4</sub> ч. пополудни сотрясеніе отъ горъ, затѣмъ дождь и громъ.
- 21—вечеромъ въ 11 ч. толчекъ и гуль.
- 22—въ 5 и 10 ч. толчки; первый былъ слышенъ на Отарѣ, въ 10 ч. вечера подземный ударъ съ гуломъ.
- 23—въ 3 ч. утра гуль и ударъ, 11<sup>1</sup>/<sub>4</sub> ч. дня толчекъ, въ 10 и 12 ч. ночи дрожаніе.
- 24—во 2 часу гуль и дрожаніе чувствительное.
- 25—въ 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> ч. дня толчекъ.
- 26—въ 4<sup>3</sup>/<sub>4</sub> ч. утра сотрясеніе, въ 12 ч. дня толчекъ.
- 27—въ 2 ч. ночи гуль и дрожаніе, въ 8<sup>1</sup>/<sub>2</sub> ч. утра толчекъ, въ 4<sup>3</sup>/<sub>4</sub> и 9 ч. толчки. Буря.
- 28—Часа въ 3 ночи чувствительное землетрясеніе, въ 4<sup>3</sup>/<sub>4</sub> ч. легкое, затѣмъ день и ночь ливень, дождь и громъ.
- 29—въ 8 ч. утра съ гуломъ сильное сотрясеніе, въ 5 ч. вечера повторилось.
- 30—въ 10 ч. утра и въ 3<sup>1</sup>/<sub>2</sub> ч. дня толчки.
- 31—въ 3 ч. ночи легкій толчекъ, чрезъ 50 минутъ ударъ, гуль, дрожаніе.
- 1 августа. Было дрожаніе земли.
- 2—въ 3 ч. утра толчекъ, въ 6 ч. вечера толчекъ.
- 4—въ 3 ч. подземный гуль и дрожаніе земли, въ 4 ч. легкой толчекъ.
- 6—въ 1 и 6 часу было два легкихъ толчка.
- 7—ночью легкое дрожаніе земли.
- 9—передъ утромъ толчекъ.
- 10—сильное землетрясеніе ночью въ 2 ч., гуль.
- 11—всю ночь легкое дрожаніе земли, въ 11 ч. гуль и затѣмъ сотрясеніе отъ горъ.
- 13—ночью легкое дрожаніе, а въ 8<sup>3</sup>/<sub>4</sub> ч. утра гуль и толчекъ.
- 14—въ часъ и передъ свѣтомъ гуль.
- 15—ночью гуль и два толчка.

- 16—гуль.
- 17—гуль и легкое дрожание въ 2 и 6 ч. утра.
- 19—въ 1 часу ночи толчекъ.
- 20—въ 7 утра гуль и затѣмъ ударъ, все задрожало, но былъ и раньше толчекъ, въ 6<sup>1</sup>/<sub>2</sub> ч. вечеромъ легкой толчекъ; ночью дважды гуль.
- 21—въ 3 ч. ночи сильный гуль и дрожание земли настолько сильное, что на ходу было чувствуемо, затѣмъ предъ утромъ двукратно сильный гуль.
- 22—въ 10<sup>1</sup>/<sub>2</sub> ч. вечера послышался необыкновенно сильный гуль и затѣмъ сильный ударъ, все дрогнуло, деревянные дома трещали, съ каменныхъ падали кирпичи.
- 23—въ 9 ч. утра слабое дрожание земли, 9 ч. вечера толчекъ.
- 24—ночью, часу во 2-мъ дрожание земли.
- 25—во 2 и съ 4 часа ночью толчки съ сильнымъ гуломъ.
- 26—въ 3 часу дня толчекъ.
- 28—въ 10 ч. 50 м. вечера такой сильный ударъ, что бараки дрожали, предъ свѣтомъ повторились.
- 29—въ 7 ч. утра легкой толчекъ.
- 30—въ 5 ч. утра сильный толчекъ, въ 6<sup>3</sup>/<sub>4</sub> ч. вечера страшный гуль, сильное дрожание земли и двойной сильный подземный ударъ. Кирпичи падали со стѣнъ, въ 8<sup>1</sup>/<sub>2</sub> ч. опять повторилось, но слабо.
- 31—предъ свѣтомъ было колебаніе земли. Въ 9<sup>3</sup>/<sub>4</sub> ч. утра чувствовали толчекъ, въ 11 ч. вечера то же.
- 1 сентября. Въ 4<sup>3</sup>/<sub>4</sub> ч. сильное землетрясеніе, но еще до того было 3 и послѣ 2 легкихъ толчка.
- 2—въ 7 ч. утра дрожание земли. Вечеромъ въ 7 ч. 10 м. сильное и продолжительное дрожание земли, гуль и ударъ. Огрозилась на ст. Самсу и Отаръ.
- 3—въ 5 ч. вечера сильный подземный гуль, дрожание земли и затѣмъ толчекъ, въ 7 ч. 10 м. опять задрожала земля съ гуломъ, который имѣлъ характеръ грохота.
- 4—въ 4 часа толчекъ.
- 5 и 8—также, легкіе толчки съ гуломъ.
- 11—ночью начался рядъ сильныхъ подземныхъ толчковъ, особенно въ 2 и 4 ч. 50 м. утра съ гуломъ. Съ 4 по 11-е число были частые, каждая сутки разъ по 5 удары, иногда падали дымовыя трубы.
- 12—ночью было довольно чувствительное землетрясеніе.
- 13—въ 3 ч. утра толчекъ, въ 2<sup>3</sup>/<sub>4</sub> часа сотрясеніе съ гуломъ, въ 3 ч. 5 м. еще сильно дважды дрогнула земля.
- 14—въ 6 ч. утра сотрясеніе отъ горъ.
- 15—въ 7 ч. утра то же съ SW, въ домахъ сыпалась штукатурка, гуль.
- 16—ночью въ 11 ч. 15 м. гуль и трясеніе.
- 17—ночью легкой толчокъ, въ 10 ч. вечера то же.
- 18—ночью три раза трясло, а въ послѣдній (5 ч. утра) довольно чувствительно.
- 19—въ 7 ч. 50 м. утра сотрясеніе отъ горъ.
- 20 и 21—ночами легкіе толчки.
- 22—въ 6 ч. вечера легкой толчекъ, съ гуломъ.
- 23—ночью тоже, 10<sup>1</sup>/<sub>2</sub> ч. утра гуль и толчекъ, въ 5 ч. вечера тоже.
- 24—въ 9 ч. 5 м. утра толчекъ, ночью тоже былъ.
- 25, 26, 27—каждую ночь или предъ утромъ гуль и легкіе толчки.
- 28—ночью толчки съ гуломъ, легкіе и вечеромъ, въ Джаркентѣ утромъ.
- 30—въ 8<sup>1</sup>/<sub>2</sub> ч. вечера сотрясеніе отъ горъ съ гуломъ въ 11 ч. повторилась.
- 3 октября—предъ утромъ толчекъ и гуль.

4—въ 3 ч. 30 м. сильное сотрясение отъ горъ, гулъ въ родѣ выстрѣловъ глухихъ; въ 5 и 5<sup>1</sup>/<sub>2</sub> ч. утра еще толчекъ.

5—въ 4 часу утра толчекъ, (у воротъ перемычка упала).

6—въ 11 ч. дня толчекъ довольно чувствительный.

7—въ 9 ч. 45 м. вечера сильный толчекъ.

10—ночью продолжительное, но не сильное землетрясение.

13—въ 11 ч. утра толчекъ съ гуломъ. Дождь.

16—ночью часу во 2 толчекъ.

17, 18 и 19—каждую ночь гулъ и толчекъ.

24—вечеромъ въ 10 ч. толчекъ.

30—въ 3 часа дня тройной ударъ, продолжительный гулъ, въ городѣ все дрожало. Землетрясение это отразилось во всѣхъ селеніяхъ Вѣрненскаго уѣзда. Въ Казанско-Богородскомъ въ нѣкоторыхъ домахъ произошли легкія поврежденія печей и стѣнъ.

31—ночью былъ толчекъ, вечеромъ въ 9 ч. два толчка.

1—3 ноября. Ночами было дрожаніе, но очень легкое.

4—ночью и послѣ обѣда трясло, послѣднее довольно сильно, строения дрожали.

Съ 5 по 13—по ночамъ и чувствовалось дрожаніе, но очень легкое.

16—всю ночь дрожала земля довольно чувствительно. Многіе не гасили свѣчи всю ночь.

17—въ 7 ч. вечера толчекъ.

18—въ 1 часъ ночи—толчекъ.

20—въ 9 ч. 30 м. дрожаніе земли.

21—въ 2 ч. дня толчекъ, вечеромъ въ 11 часу тоже.

23—въ 2 ч. ночи дрожаніе земли.

25—ночью былъ чувствительный толчекъ.

26—въ полночь предъ утромъ трясло.

27—въ 5 и 11 ч. послѣ обѣда гулъ и дрожаніе земли.

5 декабря. Въ полночь задрожала земля съ гуломъ, два толчка сильныхъ, строения трещали.

8—вечеромъ въ 8 ч. 40 м. гулъ, дрожаніе и днемъ было въ 12 часу.

9—въ 11 ч. дня толчекъ.

10—въ 12<sup>3</sup>/<sub>4</sub> ч. гулъ и легкій толчекъ.

11—въ 11 ч. 40 м. вечера гулъ и толчекъ.

12—въ 12<sup>1</sup>/<sub>2</sub> ч. дня гулъ и толчекъ, и въ 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> ч. гулъ.

13—въ 5<sup>3</sup>/<sub>4</sub> ч. утра тоже толчекъ.

14—ночью въ 4 ч. дрожаніе земли, въ 11<sup>3</sup>/<sub>4</sub> ч. гулъ и толчекъ.

16—предъ свѣтомъ въ 4 часа было дрожаніе земли съ гуломъ.

18—10 ч. утра довольно сильное дрожаніе съ гуломъ.

20—въ 1 часу ночи былъ гулъ.

21—въ 12 ч. 50 м. дня толчекъ съ гуломъ.

22—въ 11 ч. 10 м. утра толчекъ съ гуломъ, 10 ч. вечера легкой толчекъ.

24—въ 12 ч. 30 м. ночи гулъ и толчекъ, направлявшійся съ О на W.

27—въ часъ ночи былъ сильный ударъ съ гуломъ и три раза ночью трясло. 5 ч. утра легко повторилось.

29—ночью и утромъ нѣсколько разъ легкое дрожаніе земли, въ 9 ч. ударъ съ гуломъ.

30—въ 9 ч. вечера толчекъ.

31—ночью и предъ свѣтомъ гудѣло дважды, и дрожала земля. Вышалъ снѣжокъ.



1888 годъ.

3 января. Предъ свѣтомъ, утромъ гуль и толчекъ.

6—днемъ дважды трясло съ гуломъ, въ 12<sup>1/2</sup> и 2 ч. Посуда на полкахъ дрожала, въ 9 ч. вечера толчекъ.

5—утромъ въ 5 ч. толчекъ, въ 1 ч. дня тоже, въ 11 ч. ночи гуль и толчки.

7—вечеромъ въ полночь толчекъ.

9—въ 3 ч. утра гуль и толчекъ, въ 6 ч. два удара довольно сильные, въ 9 вечера толчекъ, во 2 часу дня продолжительный гуль съ интерваломъ въ 9 часу.

11—въ 12 ч. трясло. Это землетрясеніе отразилось въ Илійскѣ.

15—ночью въ 3 ч. на сіе число слышалось дрожаніе и гуль.

16—передъ свѣтомъ два раза было дрожаніе.

17—послѣ полночи было трясеніе, а въ 3 часа полное затмѣніе, но толчокъ, говорятъ, былъ съ вечера еще.

18—поздно вечеромъ толкнуло.

10—въ 11 ч. 46 м. вечера сильное землетрясеніе, направлялось съ юго-запада на сѣверо-востокъ, отдалось въ г. Пишпекъ въ 12 ч. 5 м., Илійскѣ въ 12 ч., въ Надеждинскомъ, Михайловскомъ, Казанско-Богородскомъ, Маловодномъ, Карасуйскомъ, Зайцевскомъ, Софійскомъ и Кутентайскомъ.

25—ночью чувствовалось дрожаніе.

26—утромъ въ 7 ч. трясло сильно съ гуломъ.

28—въ 8<sup>1/2</sup> ч. вечера опять трясло съ гуломъ.

29—въ 10 ч. вечера толчекъ.

30—въ 10<sup>1/2</sup> ч. утра слабый толчекъ.

1 февраля—въ 10 ч. 20 м. вечера загудѣло и задрожало, и затѣмъ послѣдовалъ сильный толчекъ все по одному направленію съ юга.

3—ночью чувствовалось сотрясеніе.

4—часу въ 11 дня гуль, сотрясеніе; одновременно было и въ г. Ташкентѣ.

6—часу во 2 дня толчекъ съ гуломъ.

7—въ 10 ч. вечера дрожаніе.

9—дрожало около полночи. Отозвалось въ Отарѣ и Пишпекѣ.

12—въ 6 ч. утра сильный гуль и толчекъ, но ночью было 3 или 4 раза всего.

19—въ 8<sup>1/2</sup> ч. утра гуль и легкій толчекъ и вчера, говорятъ, слышали гуль.

20—въ первомъ часу ночи было сильное землетрясеніе, все дрожало, подземный гуль былъ въ родѣ отдаленной кононады, раздававшейся отъ часу; подъ землею грохотало, деревянные строения трещали. Погода прекрасная. Въ 4 часа утра повторилось слабѣе.

22—поздно вечеромъ толчекъ. Утромъ передъ свѣтомъ и въ 9 ч. два толчка.

26—днемъ въ 4 ч. толчекъ. Выяснѣло и похолодѣло къ утру 27-го.

27—вечеромъ въ 10<sup>3/4</sup> ч. сильное дрожаніе съ гуломъ; дома затрещали.

1 марта—въ Ташкентѣ землетрясеніе въ 4 ч. 15 м. утра.

2—послѣ полночи на сіе число слышали легкій толчекъ.

на 4—ночью два раза толкнуло и утромъ еще.

5—въ 10 ч. 10 м. толчекъ съ гуломъ.

7—въ 4<sup>1/2</sup> ч. утра толчекъ съ гуломъ. Послѣ 2-хъ недѣльнаго ведра—занесло тучами, ночью накрапывалъ дождь. Въ 10 ч. 40 м. вечера загудѣло, и произошелъ толчекъ.

9—вечеромъ близь полночи гудѣло и трясло.

- 10—въ 3 ч. 50 м. сильный гудъ и легкій толчекъ.  
11—ночью опять было довольно сильное дрожаніе земли съ гуломъ, дома затрещали. Утро холодное, но пасмурное.  
12—около полночи толкнуло. Въ 8 ч. 10 м. вечера загудѣло и трясло цѣлый часъ. Дождь, къ утру свѣтъ, слякоть.  
14—въ 12 ч. дня былъ легкій толчекъ. Снѣжокъ сплошь покрывъ землю.  
15—около полночи толкнуло и потомъ еще разъ послѣ.  
16—опять въ полночь и часа въ 4 два довольно сильные толчка съ гуломъ.  
17—въ 1 часу ночи сильный гудъ, дрожала земля, трещали строения.  
19—ночью было дрожаніе земли.  
20—въ 4 ч. утра легкій толчекъ.  
21—тоже послѣ полночи часа черезъ два. Въ 10 ч. вечера сильнѣйшій гудъ и сильно дрогнуло. Послѣ еще нѣсколько разъ гудѣло.  
22—въ 5 ч. пополудни землетрясеніе отозвалось въ Тургени (Михайловское).  
24—передъ утромъ легкое дрожаніе.  
27—въ 2 ч. ночи было чувствительное землетрясеніе.  
28—въ 5 ч. вечера легкій толчекъ.  
29—въ 7 ч. утра тоже.  
Въ маѣ толчки продолжались, но рѣже, наиболѣе значительное сотрясеніе съ гуломъ произошло опять 28 мая 1888 г.

Такимъ образомъ, въ теченіе цѣлаго года отдѣльные, хотя и слабые толчки повторялись довольно часто; въ началѣ каждый день, а въ концѣ года уже съ промежутками въ два, три и даже 5 — 6 дней; причѣмъ сила толчка постепенно ослабѣвала.

Толчки не прекратились и въ слѣдующую половину 1888 г., но происходили еще рѣже, какъ видно изъ различныхъ корреспонденцій въ Туркестанскихъ Вѣдомостяхъ <sup>1)</sup>. Толчки изрѣдка чувствовались въ іюнѣ и въ іюлѣ, но въ особенности въ августѣ удары замѣчены: 3 числа днемъ, 7 — ночью, 19—два днемъ и ночью въ 3<sup>1</sup>/<sub>2</sub> ч. утра и на 20-е число ночью. 26-го іюля въ 5 час. утра было сотрясеніе въ дер. Преображенской на озерѣ Иссыкь-кулѣ, а 7-го августа въ 8 ч. веч. на Атбашѣ. Въ сентябрѣ происходили немногіе толчки, а въ октябрѣ замѣчено 13 ударовъ, сопровождавшихся гуломъ, а именно 1-го ч. въ 5 ч. 50 м., 2 — въ 9 ч. утра, ночью на 4-е, 9 — утромъ, 10 — утромъ, 11—днемъ, 14—утромъ, 20—утромъ, 26—ночью, 27—вечеромъ, на 31—въ полночь; послѣднее чувствительно отразилось въ Вахты и Джаркентѣ, причѣмъ корреспондентъ замѣчаетъ, что онъ отмѣчаетъ толчки болѣе чувствительные, слабые же, къ сожалѣнію, онъ опускаетъ. Въ ноябрѣ замѣчены сотрясенія земли въ слѣдующіе числа: 3 ч.—въ 1 ч. дня, 9—въ 1 ч. дня, 13—въ 1 ч. у. и въ 8<sup>1</sup>/<sub>2</sub> ч. вечера, 14 въ 11 ч. дня, 17—вечеромъ въ 5<sup>1</sup>/<sub>2</sub> ч., отразившееся въ Капалѣ такъ сильно, что многіе дома получили трещины. 21-го утромъ въ 10<sup>1</sup>/<sub>2</sub> ч., а вечеромъ въ 4<sup>1</sup>/<sub>2</sub> ч. затрясло такъ сильно, что самые солидные дома изъ брусевъ затрещали; 24 и 25 ч. также чувствовались удары. Декабря 1, 2, 4, 11 и 20 чувствовалось слабое сотрясеніе въ горахъ противъ д. Толгара.

Въ 1889 г. подземные удары повторялись еще рѣже и слабѣе; такъ отмѣчены въ январѣ 2, 5, 12, 13 и 20 чиселъ <sup>2)</sup>; послѣдній, бывшій въ 6<sup>1</sup>/<sub>2</sub> час. вечера, былъ болѣе чувствителенъ, также

<sup>1)</sup> № 37-й—20 сент., № 49—13 декабря 1888 г.

<sup>2)</sup> Турк. Вѣд. № 43, 1888.

как 7 и 13 февраля, когда будто бы слышен был «грохотъ въ родѣ пушечнаго залпа» <sup>1)</sup>, «дома дали трещины», «люди бросились изъ домовъ», однако, официальное сообщеніе военного губернатора, Семирѣченской области <sup>2)</sup> отвергаетъ это преувеличенное сообщеніе и указываетъ, что землетрясеніе 13 февраля 1889 г. было «незначительное и только обезпокоившее жителей».

Несомнѣнно, что сотрясенія и удары въ Вѣрномъ не прекратились еще и до сихъ поръ, но, къ сожалѣнію, мы не имѣемъ свѣдѣній о нихъ.

Въ то же время, не только въ Вѣрномъ, но и въ другихъ окрестныхъ мѣстностяхъ нерѣдко чувствовались подземные удары, отчасти отраженные, какъ указано во многихъ мѣстахъ перечня; часто же, повидимому, совершенно самостоятельные, напр., въ г. Ташкентѣ 1 марта 1888 г. въ 4 ч. 15 м. утра, 29 октября въ 10 ч. 10 м. утра <sup>3)</sup> съ глухимъ подземнымъ гуломъ, и наконецъ 16 ноября, въ 11 ч. 40 м. дня, въ Ташкентѣ произошло землетрясеніе, далеко <sup>4)</sup> превосходившее всѣ содроганія почвы, которыя ощущались ежегодно послѣ большого землетрясенія 1886 года. Замѣчательно, что по времени нынѣшнее землетрясеніе почти совпало съ землетрясеніемъ 1886 года (17 ноября, въ 10 ч. 50 м. дня). Послѣ довольно продолжительнаго, но легкаго содроганія земли, продолжавшагося секунды 4 или 5, послѣдовалъ сильный ударъ; балки и стропила въ домахъ затрещали, стекла и посуда зазвенѣли. Почти всѣ выбѣжали изъ квартиръ на улицу, ожидая повторенія ударовъ и, можетъ быть разрушенія жилищъ. Но къ счастью, дѣло ограничилось однимъ страхомъ. На потолкахъ, однако, появились во многихъ мѣстахъ трещины, а въ старыхъ, непрочныхъ домахъ осыпалась съ потолка штукатурка, упали карнизы, и т. под. Серьезныхъ поврежденій въ зданіяхъ и несчастій съ людьми не было, ни въ русскомъ, ни въ азиатскомъ Ташкентѣ. Волна землетрясенія шла, повидимому, отъ востока къ западу, такъ какъ получаются уже извѣстія, что въ мѣстностяхъ, лежащихъ къ востоку отъ Ташкента, поврежденія отъ землетрясенія значительнѣе; такъ, напр., въ Ходжентѣ умерла сартанка, ушибленная во время землетрясенія; въ Костаковѣ упавшими стѣнами въ разныхъ мѣстахъ селенія убито девять и ранено семь чело-вѣкъ; Костаковская станція сильно повреждена; въ селеніи Иписаръ, Костаковской волости, убито пять чело-вѣкъ; изъ казенныхъ зданій въ г. Ходжентѣ повреждены: помѣщеніе уѣзднаго управленія, тюрьма, зданіе, занимаемое уѣзднымъ начальникомъ, помѣщеніе для полицейскихъ нижнихъ чиновъ, миршабхана и казначейство. Легкія колебанія земли замѣчены были 16 ноября, около 9 часовъ утра и въ 3 и 5 часовъ пополудни.

Въ Семипалатинскѣ 28 ноября, а также 2, 5 и 23 декабря подземные удары съ гуломъ были настолько сильны, что въ двухъ каменныхъ домахъ произвели трещины, что для Семипалатинска представляетъ весьма рѣдкій случай.

Наконецъ довольно сильное землетрясеніе произошло 30-го іюня 1889 г., центръ котораго повидимому находится на р. Чиликѣ. Болѣе полная свѣдѣнія о немъ мы надѣемся получить въ скоромъ времени посредствомъ вопросныхъ листовъ, разосланныхъ сейсмической комиссією Императорскаго Русскаго Географическаго Общества во всѣ потрясенныя мѣстности. Пока же краткое описаніе его займемъ изъ Турк. Вѣд. № 30, 1889 г., по корреспонденціямъ гг. Аристова и Зенкова. Землетрясеніе 30 іюня 1889 г. произошло въ области того же Заилійскаго Алатау, но центръ его переиѣстился верстъ на 100 къ востоку, въ верховья р. Чилика и прилегающіе къ нимъ: съ юга бассейны рѣчекъ Уч-Мерке и съ сѣвера—горную долину р. Асы; здѣсь произошли наибольшіе обвалы въ горахъ, образовались значительныя трещины и вообще оказались болѣе замѣтныя измѣненія въ земной поверхности. «Долина Асы (5—7 т. футовъ надъ уровнемъ моря) служитъ лѣтнимъ кочевьемъ для киргизъ восточной

<sup>1)</sup> Турк. Вѣд. 17 марта, № 11, 1889.

<sup>2)</sup> Турк. Вѣд. № 12, 21 марта, 1889.

<sup>3)</sup> Турк. Вѣд. № 7, 14 февраля, 1889.

<sup>4)</sup> Турк. Вѣд. № 46 и 48, 1888.

части Вірненскаго уѣзда. Торговцы, ночевавшіе съ 29 на 30 іюня на урочищѣ Каркара (притокъ р. Кебана, версть 50 на ю.-в. отъ Чилика), рассказывали, что землетрясеніе тамъ было весьма сильное, настолько, что при подземныхъ ударахъ люди и животныя не могли стоять на ногахъ и отбрасывались по землѣ на нѣсколько аршинъ; на пути ихъ чрезъ Учъ-Мерке, 30 іюня и 1 іюля, постоянно продолжались сотрясенія почвы и сильныя толчки; круглыя и глубокія тѣсины рѣчкѣ Учъ-Мерке дали во многихъ мѣстахъ обвалы; въ почвѣ образовались трещины и проѣзды сдѣлались крайне трудными, а мѣстами и совсѣмъ невозможными, по существовавшей доселѣ горной выючной дорогѣ.

«На сѣверѣ отъ Асы, уже въ Илійской долинѣ, расположены верстахъ въ 10—20 отъ предгорій крестьянскія селенія: Михайловское на р. Тургенѣ (около 175 дворовъ, 2,500 душъ обоего пола), въ 68 верстахъ отъ г. Вірнаго, Маловодное (далѣе на востокъ въ 18 верстахъ 33 двора, 400 д.) и наконецъ Зайцевское (еще далѣе къ востоку на 46 в., 190 дв., 1,800 д.); тутъ же, между Маловоднымъ и Зайцевскимъ, находятся шесть селеній таранчей Корамской волости, въ которой считается около 2,500 дворовъ и 13,000 душъ. Во всѣхъ этихъ селеніяхъ, имѣвшія постройки исключительно глинобитныя или изъ сырцоваго кирпича, всѣ зданія разрушены или сдѣлались негодными для жилья, вслѣдствіе трещинъ въ стѣнахъ; въ русскихъ селеніяхъ погибшихъ людей не было, въ таранчинскихъ же, которыя были выстроены изъ одной, мѣстами очень солонцеватой глины, задавлено обрушившимися стѣнами и земляными крышами около 17 человекъ, болѣею частью дѣтей.

«Затѣмъ разрушительное дѣйствіе землетрясенія, съ нѣскольکو меншею силою, отразилось на югъ отъ верховьевъ Чилика, на восточныхъ берегахъ озера Иссыкъ-куля. Крутые и скалистые берега озера дали обвалы и осыпи, на низменныхъ же, особенно въ мѣстахъ болотистыхъ — образовались болѣе или менѣе значительныя трещины, изъ которыхъ показывалась вода, бившая изрѣдка фонтанми. Нѣкоторыя рѣчки (Джиргаланъ, Тюпъ) измѣнили свои русла. Мосты чрезъ рѣчки, на идущей вдоль берега почтовой дорогѣ изъ Пржевальска до Сазановки, испорчены и дорога покрылась трещинами, мѣстами шириною до аршина, глубиною до 4 аршинъ. Наиболѣе потерѣли ближайшія къ центру землетрясенія—Уйталъ и Сазановка. Въ Уйталѣ разрушены всѣ 29 домовъ и погибли 1 старикъ и 6 малолѣтнихъ, да ранено сильно 4 человекъ. Въ Уйталѣ считается всего населенія около 140 душъ. Сильно повреждены также, до необитаемости, всѣ 167 домовъ села Сазановскаго (800 душъ), лежащаго отъ Уйтала въ 25 верстахъ къ западу. Менѣе пострадало село Преображенское (на р. Тюпѣ въ 30 в. отъ Уйтала на ю.-в., около 20 дворовъ, 1800 д.). Еще слабѣе землетрясеніе ощущалось въ г. Пржевальскѣ (на р. Караколѣ, въ 29 верстахъ отъ Преображенскаго, около 4000 жителей) и въ селеніяхъ Теплоключинскомъ, Маринскомъ и Сливкиномъ; здѣсь попадали трубы, потрескались стѣны, но только малая часть домовъ сдѣлалась негодною для жилья. Сильнѣе, чѣмъ въ Пржевальскѣ, были колебанія почвы на берегу Иссыкъ-куля: удивившіеся тутъ, въ 12 верстахъ города, домики дачниковъ и кунальщиковъ разрушены; береговой уступъ, на которомъ находится могила Н. М. Пржевальскаго, нѣсколько осыпался, но могила уцѣлѣла.

«Западнѣе середины озера Иссыкъ-куля землетрясеніе не обладало разрушительнымъ характеромъ. Чувствительнѣе было оно въ Джаркентѣ (версть 150 на с.-в. отъ Каркиры-Чилика); здѣсь повреждены многіе дома. Далѣе на востокъ, въ Кульдѣѣ, разрушены глиняныя лачуги бѣдняковъ. На сѣверѣ отъ р. Или разрушенія не простирались далѣе г. Копала, гдѣ попадали въ нѣкоторыхъ домахъ трубы и потрескались печи и стѣны въ каменныхъ зданіяхъ.

«По всѣмъ свѣдѣніямъ, изъ разныхъ источниковъ, землетрясеніе началось около 10—15 минутъ четвертаго часа пополудни, 30 іюня. За короткимъ, довольно сильнымъ толчкомъ, разбудившимъ спавшихъ людей, послѣдовали чрезъ нѣсколько секундъ сильныя толчки, продолжавшіеся непрерывно съ полминуты; такіе же, но все болѣе и болѣе слабѣющіе толчки, съ небольшими промежутками, повторялись еще минутъ пять. Затѣмъ толчки эти, слабѣя или усиливаясь временами, продолжались въ бли-

жайших къ центру землетрясенія мѣстностяхъ весь день 30 іюня, а также 1, 2 и 3 іюля, не прекращаясь, особенно ночами, когда они болѣе замѣтны и до настоящаго дня. Собственно въ г. Вѣрномъ, послѣ перваго короткаго толчка, ощущались около пяти минутъ простыя колебанія почвы, видимыя на глазъ и ощущаемыя. Около 6 часовъ снова замѣчались небольшіе толчки, которые случаются и до сихъ поръ. Разрушеній въ г. Вѣрномъ, кромѣ паденія непрочныхъ трубъ и печей, а также трещинъ въ каменныхъ и глиняныхъ постройкахъ, съ разрушеніемъ наиболѣе плохихъ, не было.

«Въ общемъ, землетрясеніе 30 іюня 1889 г. охватило болѣе, чѣмъ 28 мая 1887 г., районъ и отличалось нѣсколько болѣею разрушительною силою, особенно въ горахъ и на восточномъ берегу Иссыкъ-куля, но коснулось менѣе богатыхъ и менѣе густо заселенныхъ мѣстностей. Количество разрушенныхъ домовъ составляетъ въ трехъ крестьянскихъ селеніяхъ Вѣренскаго уѣзда около 400 и въ двухъ селеніяхъ Иссыкъ-кульскаго уѣзда—около 200, а всего съ разрушенными домами въ менѣе пострадавшихъ селеніяхъ и въ городахъ Джаркентѣ и Пржевальскѣ, около 1,000 домовъ, съ населеніемъ, лишившимся крова, около 8,000 душъ; къ этимъ цифрамъ надо прибавить до 2,000 разрушенныхъ домовъ таранчей Корамской волости съ населеніемъ 8—10 т. д. Число жертвъ катастрофы не превышаетъ нѣсколькихъ десятковъ, считая и киргизъ, погибшихъ въ горахъ.

«Положеніе большей части лицъ, лишившихся во время землетрясенія домовъ, особенно таранчей, въ настоящее время весьма бѣдственное и требуетъ помощи, хотя и не особенно большой для каждаго. Помощь нужна скорая, потому что, не начавъ сейчасъ же возобновленія домовъ, бѣдные не успѣютъ выстроить ихъ до наступленія осенней погоды и могутъ пострадать сильно отъ болѣзней, зимою, въ сырыхъ, незаконченныхъ помѣщеніяхъ.

«Для оказанія пособій имѣются свободные остатки отъ пожертвованій 1887 года до 18 тысячъ рублей и можно располагать, заимообразно, неизрасходованными 100000 рублей, назначившимися на постройку церквей». О томъ, какъ отозвалось Чиликское землетрясеніе 30 числа въ Нарынѣ, сообщаютъ слѣдующее:

«На 30 іюня въ 2 часа 50 минутъ было сильное землетрясеніе, съ подземнымъ гуломъ, продолжавшимся періодически 10 минутъ. Сильныхъ было 5 сотрясеній: первое продолжалось минуты полторы, второе—около 50 секундъ, третье—до 15 секундъ; остальные два сотрясенія были секундныя и легче первыхъ трехъ. Волна шла, какъ показалъ сейсмомеръ, съ сѣверо-запада и по этому направленію, т.-е. къ сторонѣ озера Иссыкъ-куля, были слышны громкіе подземные раскаты (сильный гулъ), похожіе на орудійные залпы, продолжавшіеся и послѣ успокоенія почвы въ Нарынѣ, до 3½ часовъ. Во многихъ жилыхъ помѣщеніяхъ, особенно въ ветхихъ казармахъ, потрескались стѣны, печи и камни, а также оказались нѣсколько передомленныхъ потолочныхъ балокъ. Несчастныхъ случаевъ съ людьми не было».

Далѣе сообщается, что переполохъ былъ общій; всѣ выбѣжали изъ домовъ, панпческий страхъ выразался на всѣхъ лицахъ. Дворовыя птицы разлетѣлись, собаки подняли вой и лай, животныя мычали, блеяли»...

Есть извѣстіе, что даже въ Павлодарѣ и Семипалатинскѣ ощущалось это землетрясеніе.

8 іюня, въ 9 часовъ 20 минутъ вечера, внезапно ощутился въ Вѣрномъ сильный подземный ударъ съ трескомъ; дома затрещали и задрожали; жители, еще не спавшіе, сильно перепугались. Несчастій не было.

Что касается вообще свѣдѣній о туркестанскихъ и семирѣченскихъ землетрясеніяхъ, бывшихъ до землетрясенія 28 мая 1887 г., то систематической сборъ ихъ, начатый мною въ прошломъ году, я прекратилъ вслѣдствіе любезнаго сообщенія нашего извѣстнаго сейсмолога А. П. Орлова, который много тѣмъ занимался составленіемъ каталога не только туркестанскихъ, но и вообще всѣхъ русскихъ землетрясеній и къ счастью для науки успѣлъ окончить эту благодарную, но весьма плодотворную работу

до своей преждевременной и неожиданной кончины весной 1889 года. Драгоценный каталог русских землетрясений А. П. Орлова в настоящее время находится в распоряжении Императорского Русского Географического Общества и в скором времени будет издан мною по поручению и на средства Географического Общества; здесь же ограничусь только приложением карты (см. ниже фиг. 43) главнейших землетрясений Туркестана с указанием их областей распространения и эпицентров<sup>1)</sup>.

Этим я закончу фактическую часть отчета и перейду теперь к изложению вероятной причины Вёрненского землетрясения 28 мая 1887 г.

---

<sup>1)</sup> См. карту всех русских землетрясений в „Физической Геологии“. Т. I. Мухометова.

## ГЛАВА IV.

### Общія заключенія о Вѣрненскомъ землетрясеніи 28 мая и вѣроятной причинѣ его.

Фактическія данныя, изложенныя въ предыдущихъ главахъ, даютъ возможность опредѣлить главнѣйшіе элементы Вѣрненскаго землетрясенія 28-го мая 1887 г.

Начавшись слабыми предупредительными ударами около 4-хъ часовъ утра, оно разразилось сильнѣйшими разрушительными ударами въ 4 ч. 35 м. утра и затѣмъ продолжалось множествомъ другихъ, болѣе слабыхъ ударовъ, которые постепенно становились рѣже и слабѣе, но не прекратились еще и до сихъ поръ; слѣдовательно, весь періодъ Вѣрненскаго землетрясенія 28-го мая можетъ быть оцѣненъ болѣе чѣмъ въ два года, т.-е. въ этомъ отношеніи оно не уступаетъ самымъ продолжительнымъ землетрясеніямъ, какъ напр., южно-альпійскія, америкавскія, швейцарскія и др. Хотя сила его во всякомъ случаѣ не менѣе X балловъ шкалы Росси-Фореля, тѣмъ не менѣе общее число ударовъ не превышаетъ 600—число сравнительно ничтожное, если вспомнить, что при нѣкоторыхъ сильныхъ землетрясеніяхъ, какъ напр. въ 1870 г. въ провинціи Фокии въ Греціи ежедневно насчитывали до 2000 ударовъ, а въ теченіе только 5 мѣсяцевъ около 500,000 ударовъ, изъ которыхъ болѣе 300 сопровождались разрушительными послѣдствіями. Но если общее число ударовъ было невелико, то за-то *область распространенія Вѣрненскаго землетрясенія* отличается значительными размѣрами, не уступающими самымъ крупнымъ землетрясеніямъ, каковы напр. Чилійское 1822, Арикское 1868, Греческое 1870 г. Чарльстоунское 1884 г. и др. За крайніе предѣльные пункты этой области можно принять на сѣверѣ г. Сергіополь, на югѣ г. Кашгаръ, на западѣ г. Ташкентъ и на востокѣ г. Урумчи (см. карту № 1); она представляетъ форму неправильнаго эллипса, длинная ось котораго простирается согласно съ простираніемъ Тянь-шаня, т.-е. съ SW на NO почти на 1500 вер., а короткая въ перпендикулярномъ къ ней направленіи почти на 900 вер.; вся площадь сотрясенія около 27,000 кв. г. миль; она замѣтно выдвинута къ сѣверу въ сторону равнинъ и сжата съ юга, т.-е. со стороны Тянь-шаня, такъ что эпицентръ землетрясенія не совпадаетъ съ центромъ площади сотрясенія, а прижимается къ южной сторонѣ ея (см. карту № 1 и № 2).

*Плейстоценовая область* занимает сравнительно со всю область сотрясения небольшое пространство; наиболее отчетливыми придельными пунктами ее можно считать: на северъ ст. Карасу, на югъ оз. Джасиль-Куль, на западъ дер. Узун-агачъ и на востокъ дер. Надеждинскую или Иссыкъ; форма площади ее тоже представляетъ неправильный эллипсъ, выпуклый къ северу и сжатый съ юга, длинная ось котораго простирается согласно съ простираемъ горныхъ складокъ Тянь-шаня, почти на 100 вер., а поперечная на 50—60 вер.; вся площадь наибольшаго разрушенія не менѣе 100 кв. г. миль, хотя фигура ее подобна фигурѣ всей площади сотрясенія, но по отношенію къ ней она расположена эксцентрично, равнымъ образомъ какъ и по отношенію къ эпицентру (см. карты № 1 № 2). Величина плейстоценовой площади относится ко всей области сотрясенія какъ 1:270, что приближаетъ Вѣрненское землетрясеніе, напр. къ Средне-германскому 1872 г., гдѣ то же отношеніе было какъ 1:134, или къ Герцогенратскому 1873—1875 г., гдѣ 1:200; сообразно съ величиною и неравномерностью протяженія области сотрясенія, *скорость распространенія его* также неодинакова и варьируетъ отъ 300 м. въ 1" до 900 м. въ 1", хотя въ этомъ отношеніи наблюденій сдѣлано весьма мало, тѣмъ не менѣе все-таки замѣтна разница скоростей, особенно къ северу и западу отъ г. Вѣрнаго, какъ указано уже выше (см. стр. 12).

*Эпицентр Вѣрненскаго землетрясенія*, т.-е. та площадь на поверхности, въ которой, какъ по вышеописанному характеру разрушенія въ горахъ, такъ и по отзывамъ всѣхъ очевидцевъ, ударъ былъ вертикальный и одновременный по всей длинѣ, залегаетъ на северномъ склонѣ Запѣйскаго Алатау на высотѣ отъ 5000 до 6000 ф. и представляетъ узкую полосу, не болѣе 5 вер. шириною, простирающуюся вдоль горъ отъ долины Каскелена или даже Аксая до Березовой и Бель-Булака, т.-е. на разстояніи около 35 вер. Средняя линія этой полосы представляетъ направленіе сильѣйшихъ и одновременныхъ вертикальныхъ ударовъ, причинившихъ самые крупныя обвалы, сдвиги и оползни съ чашеобразными вершинами.

Что касается *центра или фокуса Вѣрненскаго землетрясенія*, то, уже судя по характеру всѣхъ вышеуказанныхъ элементовъ, можно думать, что онъ залегаетъ на значительной глубинѣ. Извѣстно, что большая и неравномерная скорость землетрясенія, громадная область распространенія его, относительно незначительная плейстоценовая площадь и длинный періодъ (болѣе 2 лѣтъ) свидѣтельствуютъ о большой глубинѣ залеганія исходнаго пункта удара или центра землетрясенія. Слѣдовательно, уже а priori можно было предполагать эту глубину не менѣе нѣсколькихъ верстъ, что и подтверждается численнымъ опредѣленіемъ по способу Маллета, единственному приложимому въ данномъ случаѣ. При отсутствіи специальныхъ наблюденій во время главнаго удара 28-го мая, всѣ другіе методы, напр. Зеебаха, Фальба<sup>1)</sup> и пр., основанные на точномъ

<sup>1)</sup> См. Физическую Геологію. Т. I. Мушкетова, гдѣ изложены всѣ главныя методы, равно какъ и сейсмическіе приборы.



опредѣленіи времени наступленія удара или подземнаго гула въ большомъ числѣ пунктовъ потрясенной мѣстности, совершенно неприложимы къ опредѣленію глубины фокуса Вѣрненскаго землетрясенія <sup>1)</sup>).

Методъ Маллета имѣеть нѣсколько варіацій, но для насъ наиболѣе подходящею оказалась та, которая основана на опредѣленіи положенія трещинъ въ зданіяхъ. Если черезъ  $r$  (см. фиг. 14 на стр. 38) обозначимъ глубину центра, черезъ  $\beta$ —уголъ выхода удара на поверхность въ точкѣ наблюденія  $O$ , а разстояніе этой точки  $O$  отъ эпицентра, т.-е.  $OP$  назовемъ черезъ  $D$ , то тогда изъ прямоугольника  $CPO$  видно, что глубина  $r = Dt \sin \beta$ ; слѣдовательно опредѣленіе глубины сводится къ опредѣленію разстоянія  $D$ —пункта наблюденія до эпицентра, угла  $\beta$ , который, какъ выше указано, получается изъ наблюденій положенія трещинъ разрушенія; въ каждомъ данномъ мѣстѣ уголъ  $\beta$  составляетъ дополнительный до прямого къ углу наклоненія трещины; чѣмъ паденіе трещины меньше, тѣмъ уголъ  $\beta$  больше и наоборотъ. Выше приведены не только многочисленныя опредѣленія трещинъ въ разрушенныхъ зданіяхъ г. Вѣрнаго и сводка ихъ (гл. I, стр. 36), но также и въ окрестныхъ селеніяхъ (см. гл. II). Данныя эти показываютъ, что въ г. Вѣрномъ азимуты и углы паденія трещинъ варьируютъ хотя въ широкихъ предѣлахъ отъ  $30^\circ$  до  $80^\circ$ , но подавляющее большинство (около 85%) только отъ  $40^\circ$  до  $60^\circ$ , причемъ для южной, болѣе пострадавшей части города, средней уголъ паденія трещинъ меньше, чѣмъ для сѣверной. Разстояніе г. Вѣрнаго отъ средней линіи эпицентра около 12,5 вер., причемъ отъ южной границы 10 вер., а отъ сѣверной 15 вер. При такихъ данныхъ, комбинируя различныя углы выхода и азимуты трещинъ, а также разстояніе ихъ отъ эпицентра по способу Маллета получаемъ съ помощью вышеприведенной формулы различныя величины для глубины центра, а именно minimum около 5 вер. (точнѣе 5,5 при углѣ  $60^\circ$  и разстояніи отъ эпицентра 10 вер.) и maximum 15 вер. (при углѣ выхода удара  $45^\circ$  и разстояніи 15 вер.), откуда средняя глубина центра получается около 10 вер. Та же величина получается, если взять только средней уголъ выхода ( $\beta$ ) равный  $45^\circ$  и разстояніе около 10 вер. Близкія величины даетъ такой же расчетъ, основанный на наблюденіяхъ въ Талгарѣ, Каскеленѣ и др. пунктахъ, хотя число наблюденій въ нихъ сравнительно весьма мало. Наконецъ тѣ же предѣлы глубины центра, т.-е. отъ 5 до 15 верстъ или въ среднемъ 10 вер. даетъ графическій способъ Маллета. Такимъ образомъ по глубинѣ центра Вѣрненское землетрясеніе ближе всего подходитъ къ Неаполитанскому 1857 г. 16

<sup>1)</sup> Замѣтимъ кстати, что въ многочисленныхъ корреспонденціяхъ изъ Вѣрнаго, появившихся почти во всѣхъ нашихъ газетахъ вскорѣ послѣ удара 28-го мая, заключается главнымъ образомъ описаніе бѣдствій; точныхъ же данныхъ о времени наступленія удара, особенно для пунктовъ внѣ Вѣрнаго, почти совсѣмъ нѣтъ. Все существенное не только изъ корреспонденцій, но и изъ официальныхъ сообщеній мною извлечено въ гл. I-й. Ничего не прибавляетъ новаго также и статья Бергманна: Ueber die Erdbeben in Wernuj im Juni 1887 г. въ Mitth. d. k. k. Geogr. Gesell. in Wien № 10 T. XXX, основанная на данныхъ г. Баума, которая вошла въ мой вышеприведенный перечень ударовъ, тоже можно сказать и про замѣтку Dettail'я въ Revue d'Astronomie populaire Фламариона въ 1888 г. стр. 300 и др.

дек., но уступает Среднегерманскому 1872 г. (отъ 14 до 21 вер. глубины), Силейнскому 1858 г. (около 26 вер.) и Герцогенратскому 1873 г. (отъ 5 до 17 вер.), но превосходить напр. Юкагамское 1880 г. (2,4—8 вер.).

Хотя опредѣленія глубины центра землетрясеній сами по себѣ не отличаются большою точностью, да и попытокъ-то въ этомъ отношеніи весьма немного, всего на всего существуетъ не болѣе десятка такихъ опредѣленій, тѣмъ не менѣе, по связи съ другими элементами землетрясенія, опредѣленія эти приводятъ къ интереснымъ заключеніямъ и помогаютъ выяснитъ основную причину землетрясенія въ каждомъ данномъ случаѣ. Между прочимъ даже приблизительное знаніе глубины центра даетъ нѣкоторое понятіе о температурѣ въ области исходнаго пункта удара. Принимая среднюю годовую температуру въ области эпицентра около  $+12^{\circ}$ , глубину слоя постоянной температуры въ 30 м., а геотермической градусъ въ 33 м., получимъ, что на глубинѣ въ 10 вер. температура будетъ около  $300^{\circ}$  или въ предѣлахъ глубины отъ 5—15 вер. температура колеблется отъ  $150^{\circ}$  до  $450^{\circ}$ , хотя расчетъ этотъ преувеличенъ, такъ какъ извѣстно, что съ одной стороны геотермической градусъ возрастаетъ на большихъ глубинахъ, а съ другой—увеличивается вслѣдствіе охлаждающаго вліянія горъ, тѣмъ не менѣе температура на глубинѣ центра Вѣрненскаго землетрясенія не должна быть ниже  $200^{\circ}$  въ среднемъ; слѣдовательно, въ области центра едва ли возможно допустить присутствіе воды въ капельно-жидкомъ состояніи и тѣмъ менѣе ея денудационную дѣятельность со всѣми послѣдствіями, а слѣдовательно едва ли возможны на этой глубинѣ значительныя пустоты или пещеры, обвалы въ которыхъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ производятъ землетрясенія на поверхности. Этотъ косвенный выводъ до нѣкоторой степени уже показываетъ намъ, что основная причина Вѣрненскаго землетрясенія не зависитъ исключительно отъ денудационныхъ процессовъ.

Для выясненія причины землетрясеній необходимо не только знаніе элементовъ ихъ, но также и связь съ другими явленіями природы. Къ сожалѣнію, при отсутствіи постоянныхъ и многолѣтнихъ сейсмическихъ наблюденій связь эту для Вѣрненскаго землетрясенія возможно намѣтить только отчасти, а не во всей желаемой полнотѣ, а именно только по отношенію къ атмосферному давленію и дислокаціи.

Что касается связи Вѣрненскихъ сотрясеній съ колебаніями атмосфернаго давленія, то вопросъ этотъ уже разработанъ г. Вознесенским<sup>1)</sup>, который, сравнивъ число и повторяемость ударовъ, а также колебанія барометра помѣсячно почти за цѣлый годъ (отъ мая 1887 г. по апрѣль 1888 г.), пришелъ къ тому заключенію, что усиленіе сейсмической дѣятельности въ г. Вѣрномъ болѣе или менѣе совпадало съ пониженіемъ барометра; такъ изъ всего количества отмѣченныхъ за этотъ періодъ времени ударовъ около 71% совпадало съ стояніемъ барометра ниже нормальнаго и только 29% съ обрат-

<sup>1)</sup> А. Воснесенскы.— Ueber die Erdbeben in und um Wernyj im Jahre 1887 und ihre Beziehung zu meteorologischen Vorgängen.—См. Метеорологическій Сборникъ Имп. Акад. Наукъ. Т. XII, № 4.

нымъ положеніемъ барометра, т.-е. выше нормальнаго. Въ концѣ мая, въ іюні и іюлѣ барометрическое давленіе отличалось замѣчательнымъ пониженіемъ; такъ, въ іюні число дней, въ которые барометръ стоялъ ниже нормальнаго (для г. Вѣрнаго 696,6 м.), доходило до 28, въ іюлѣ 31, и въ эти же мѣсяцы было наибольшее количество и самыхъ сильныхъ ударовъ: именно, въ іюні насчитано 52 удара, а въ іюлѣ 42. Главный, самый разрушительный ударъ 28 мая совпалъ съ наибольшимъ пониженіемъ барометра, доходившимъ до 690 мил., сопровождавшимся сильными дождями и даже ливнями. Эта связь, указанная еще раньше покойнымъ Орловымъ, подмѣчена даже мѣстными жителями, которые единогласно увѣряютъ, что подземные удары чаще всего повторялись послѣ дождей.

Наконецъ, такое же соотношеніе подтверждается многочисленными и болѣе точными сейсмическими и барометрическими наблюденіями въ другихъ странахъ, особенно въ Японіи и Италіи <sup>1)</sup>.

Такимъ образомъ напряженность сейсмической дѣятельности въ г. Вѣрномъ и его окрестностяхъ увеличивается съ уменьшеніемъ атмосфернаго давленія. Однако связь эта не даетъ права, какъ полагаютъ нѣкоторые, считать колебаніе барометра за главную причину, вызывающую землетрясенія; напротивъ, она представляетъ только побочное обстоятельство, увеличивающее или уменьшающее напряженность землетрясеній при остальныхъ одинаковыхъ условіяхъ.

Связь Вѣрнаго землетрясенія съ дислокаціей Заилійскаго Алатау проявляется еще тѣснѣе, нежели съ колебаніями атмосфернаго давленія. Для выясненія этой связи необходимо разсмотрѣть, хотя бы въ самыхъ краткихъ чертахъ, геологическое строеніе окрестностей г. Вѣрнаго и особенно Заилійскаго Алатау, въ области котораго залегаетъ эпицентръ Вѣрнаго землетрясенія. Подробное геологическое описаніе Заилійскаго Алатау въ связи со всею системою Тянь-шаня будетъ представлено мною во 2-мъ томѣ моего „Туркестана“, а потому здѣсь я ограничусь краткими указаніями на нѣкоторыя формы дислокаціи сѣвернаго склона Заилійскаго Алатау, имѣющія непосредственное отношеніе къ Вѣрному землетрясенію.

Заилійскій Алатау представляетъ одинъ изъ типичныхъ складчатыхъ хребтовъ системы Тянь-шаня, отличающихся, съ одной стороны, дугообразнымъ изогнутіемъ къ югу, а съ другой—неравномѣрнымъ строеніемъ склоновъ; южные выпуклые и пологіе склоны несравненно менѣе нарушены, нежели сѣверные, на которыхъ нерѣдко проявляются значительные сдвиги, мѣстами маскирующіе правильность складчатости. Сдвиги эти, придавая скалистость и крутизну вогнутымъ сѣвернымъ склонамъ, увеличиваются въ пунктахъ наибольшаго поднятія каждаго даннаго хребта и достигаютъ наибольшихъ размѣровъ въ тѣхъ частяхъ Тянь-шаня, гдѣ выступаютъ древніе гранитовые массивы, нерѣдко соединяющіе различныя хребты между собою и названныя мною древними

<sup>1)</sup> См. Физическую Геологію Мухометова. Т. I.  
Труды Геол. Ком. Т. X, № 1.

гранитовыми островами <sup>1)</sup>, напр. Хань-Тенгри, Мустагь-ата, Манась, Каракольскій массивъ, соединяющій Александровскій хребетъ съ Джумгалскимъ, Утмекъ и др., точно также Заилійскій Алатау соединяется съ Кунгей-Алатау громаднѣмъ Чилико-Кебинскимъ гранитовымъ массивомъ, на меридианѣ котораго нѣсколько восточнѣе г. Вѣрнаго и противъ ст. Софійской (Талгаръ) оба хребта достигаютъ наибольшей высоты—до 14,000—15,000 ф., покрываются обширными снѣговыми полями и многочисленными ледниками. Къ востоку и западу отъ этого массива Заилійскій Алатау постепенно понижается и теряетъ ледники.

На западѣ Заилійскій Алатау начинается сравнительно небольшими горами (до 4—5000 ф.) Кандыкъ-тау, простирающимися съ NW къ SO и состоящими изъ гранитовъ и метаморфическихъ глинистыхъ, глинисто-сланцевыхъ и слюдяныхъ сланцевъ съ небольшими выходами красныхъ кварцевыхъ порфировъ и диабазовъ преимущественно на сѣверномъ склонѣ. Съ приближеніемъ къ Кастэку хребетъ постепенно возвышается до 8000 ф. и на меридианѣ Кастэка круто поворачиваетъ почти прямо къ востоку. Этотъ переходъ характеризуется мощными выходами порфировъ на сѣверномъ склонѣ, которые обуславливаютъ замѣтное раздутье его въ ширину западнѣе Кастэка. Восточнѣе Кастэка Заилійскій Алатау возвышается еще болѣе (11—12,000 ф.) и съ широтнымъ простираниемъ доходитъ до долины Б. Алматинки, гдѣ, претерпѣвая какъ бы второй переломъ, заворачиваетъ къ NO и сохраняетъ это направление уже до конца. Та часть хребта, которая залегаетъ между долинами Б. Алматинки и Тургенъ, т.-е. въ области Чилико-Кебинскаго массива, отличается, какъ уже выше сказано, наибольшою массивностью и развитіемъ ледниковъ; восточнѣе Тургени онъ снова понижается, раздѣляется на нѣсколько вѣтвей и оканчивается небольшими горами Согуты, Богуты и Турь-айгырь, подобными Кандыкъ-тау.

Рядомъ съ орографическимъ измѣненіемъ, геологическое строеніе Заилійскаго Алатау восточнѣе Кастэка значительно усложняется какъ въ петрографическомъ, такъ и въ стратиграфическомъ отношеніи.

Не касаясь подробностей, замѣчу только, что восточнѣе Кастэка къ гранитамъ и сланцамъ присоединяются известняки и порфиновые туфы, а кварцевые порфиры образуютъ уже значительную гряду, рельефно выступающую на меридианѣ Каскелена у самаго подножія Заилійскаго Алатау. Туфы и известняки являются какъ бы зацѣпленными между центральнымъ гранитомъ и окраиннымъ порфиромъ. Порфировая гряда оказываетъ влияние на характеръ поперечныхъ долинъ, которыя, прорывая ее, служатъ въ скалистыхъ тѣснинахъ при самомъ выходѣ изъ горъ. Наиболѣе отчетливо это наблюдается въ долинѣ Каскелена, которая выше порфировъ представляетъ широкую травянистую долину со спокойными сглаженными склонами, особенно въ области сланцевъ, известняковъ и туфовъ, но, прорывая порфировую гряду, превращается въ ущелье

<sup>1)</sup> См. Туркестанъ. Мункетова Т. I, 1886 г. стр. 20.

и сохраняет этот характер до выхода из горь на равнину, гдѣ начинаются мощные рѣчные наносы и лёсъ. Въ слѣдующихъ къ востоку долинахъ: Аксае, Большой Алматинки и промежуточныхъ между ними, известняки, туфы и даже кварцевые порфиры скрываются и на продолженіи простирания ихъ встрѣчаются роговообманковые граниты съ жилами діабаза, разрушеннаго діорита, порфирита и глинисто-сланцевые сланцы, причемъ гранитъ подходит къ подножію Заилійскаго Алатау, а сланцы, мѣстами переходящіе въ гнейсы, отодвигаются къ гребню хребта и являются какъ бы защемленными между краснымъ центральнымъ гранитомъ и сѣрымъ окраиннымъ гранитомъ, представляя чрезвычайно интенсивную складчатость и различной величины сдвиги. Акъ-джарскіе обвалы произошли какъ разъ на рубежѣ соприкосновенія сланцевъ и сѣрыхъ гранитовъ, что опредѣляется даже характеромъ осыпи, въ которой, какъ выше описано (см. стр. 104 фиг. 39—40), правая сторона состоитъ изъ гранитныхъ глыбъ, а лѣвая изъ сланцевыхъ. Подобно Акъ-джарскимъ, всѣ крупные обвалы въ долинѣ Б. Алматинки приходятся также на контактѣ сланцевъ съ гранитами (см. фиг. 31). Къ востоку отъ Б. Алматинки, гдѣ хребетъ поворачиваетъ къ NO, снова появляются небольшіе выходы порфировъ почти съ широтнымъ простираниемъ; начинаясь въ долинѣ М. Алматинки, они достигаютъ весьма мощнаго развитія въ долинѣ Талгара, Иссыка и Тургени, гдѣ они слагаютъ всѣ предгорія, известныя подъ именемъ „мелкосопочника“, и совершенно отѣсняютъ окраинные граниты, которые отъ Малой Алматинки протягиваются только до Талгара, а затѣмъ совершенно исчезаютъ и порфиры образуютъ самыя окраины хребта, какъ въ Каскеленѣ, но въ несравненно большемъ развитіи; если на Каскеленѣ ширина порфировой гряды не превышаетъ 2-хъ верствъ, то на Иссыкѣ она достигаетъ до 20 верствъ. Окраинные граниты между М. Алматинкой и Талгаромъ, также какъ на Аксаѣ, соприкасаются съ сланцами, защемленными между ними и центральнымъ гранитомъ; здѣсь они также обнаруживаютъ интенсивную и разнообразную дислокацію, т.-е. складчатость и сбросы и соотвѣтствуютъ полосѣ наибольшаго разрушенія, произведеннаго землетрясеніемъ 28-го мая 1887 г.

Восточнѣе Тургени порфиры на окраинахъ хребта постепенно уступаютъ мѣсто сланцамъ, а съ приближеніемъ къ Чилику, мезозойскимъ песчаникамъ и известнякамъ, которые достигаютъ значительной мощности у Каратурука, откуда они снова довольно быстро исчезаютъ у Чилика, а восточнѣе Чилика на сѣверномъ склонѣ небольшихъ горъ Согуты и Богуты опять проявляются вмѣстѣ съ сланцами и порфирами.

Такимъ образомъ, весьма неравномѣрное и, такъ сказать, спорадическое распредѣленіе главнѣйшихъ породъ на сѣверной окраинѣ Заилійскаго Алатау указываетъ на существованіе цѣлаго ряда продольныхъ сбросовъ, которые ограничиваютъ мѣстами самое подножіе хребта. Отъ Каскелена до Чилика проявляются на окраинѣ два главныхъ сброса: одинъ, отъ Аксае до М. Алматинки, соотвѣтствуетъ гранитной окраинѣ хребта, возвышающейся прямо надъ сглаженной стеею, покрытою песчано-глинистыми и галечниковыми наносами; второй—отъ Кара-турука черезъ долину Чилика до горъ

Согуты. Только продольными сбросами и возможно объяснить, во 1-хъ, рѣзкій контрастъ между горами и прилегающею степью, во 2-хъ, появленіе гранитовъ у самаго подножія хребта между Аксаемъ и М. Алматинкой, и въ 3-хъ, быстрое исчезновеніе въ обѣ стороны отъ Каратурука мощной свиты мезозойскихъ породъ, которыя со стороны Чилика обрываются почти вертикально. Трудно опредѣлить величину этихъ сбросовъ, но во всякомъ случаѣ, судя по мощности мезозойскихъ породъ и порфировъ, они должны быть не менѣе 1000 ф., а вѣроятно, гораздо болѣе. Кромѣ краевыхъ сбросовъ, отдѣляющихъ горы отъ степей и обнаруживающихся какъ въ рѣзкомъ подъемѣ горъ, такъ и въ прерывчатомъ залеганіи однѣхъ и тѣхъ же породъ, наблюдаются еще яснѣе продольные и поперечные сдвиги на томъ же склонѣ Заилійскаго Алатау выше мелкосопочника въ области той сланцевой полосы, которая, какъ выше указано, защемлена между окраинными и центральными гранитами, или же, какъ на Каскеленѣ, между порфирами и гранитами. Сдвиги эти разбиваютъ сланцевыя складки и весьма многочисленны; опредѣлить размѣры ихъ почти невозможно безъ самыхъ подробныхъ съемокъ, но констатировать можно почти во всѣхъ большихъ поперечныхъ долинахъ, а особенно въ Б. Алматинкѣ, какъ это видно на приложенномъ разрѣзѣ (таб. IV), сдѣланномъ по профилю нивелировки отъ г. Вѣрнаго до оз. Иссыкъ-куля.

На томъ же разрѣзѣ показанъ въ общихъ чертахъ не только характеръ дислокаціи, но и геологическій составъ Заилійскаго и Кунгей-Алатау, сложенныхъ главнымъ образомъ изъ различныхъ метаморфическихъ сланцевъ и массивно-кристаллическихъ породъ. Сланцы образуютъ двѣ рѣзко обособляющіяся полосы; одна изъ нихъ залегаетъ на сѣверномъ склонѣ Заилійскаго Алатау между центральнымъ и окраиннымъ гранитомъ или же между гранитомъ и порфиромъ; другая, болѣе мощная, залегаетъ въ промежуткѣ между хребтами, слагаая склоны продольной долины Кебина, раздѣляющей Заилійскій Алатау отъ Кунгей-Алатау.

Представителями массивно-кристаллическихъ породъ въ Заилійскомъ Алатау являются сѣрые, болѣею частью, сильно разрушенные крупнозернистые біотитовые окраинные граниты, красноватые плотные центральные граниты, гранитовые порфиры, малиновые кварцевые и фельзитовые порфиры, плотные діориты, діабазы и порфириты. Окраинные граниты прилегаютъ или прямо къ сланцамъ и слагаютъ окраину хребта, или отдѣняются отъ сланцевъ выходами кварцеваго порфира. Центральные граниты и гранитовые порфиры выступаютъ преимущественно у гребня хребта. Диориты и діабазы выступаютъ небольшими жилами, прорѣзывающими тѣ и другіе граниты и отчасти сланцы. Кварцевые и фельзитовые порфиры проявляются у сѣверной подошвы Заилійскаго Алатау, гдѣ они часто замѣщаютъ граниты, какъ на Каскеленѣ, Иссыкѣ, Тургени и др.

Въ Кунгей-Алатау на сѣверномъ склонѣ получаютъ мощное развитіе плотные діабазы и фельзитовые порфиры, на гребнѣ—эпидотовые сіениты, а на южномъ склонѣ

красные плотные ортоклазовые порфиры, доходящие мѣстами до береговъ оз. Иссык-Куля и прикрытые мощными древне-ледниковыми отложениями.

Ко всѣмъ этимъ породамъ присоединяются еще нѣкоторыя осадочныя образованія, проявляющіяся только въ продольныхъ долинахъ на восточныхъ и западныхъ концахъ обоихъ хребтовъ; между ними наибольшее развитіе имѣютъ девонскіе и горные известняки, которые мѣстами прикрываются мезозойскими юрскими песчаниками съ прослойками бурого угля и третичными конгломератами, глинами, содержащими залежи гипса и каменной соли.

Какъ сланцы, такъ и массивно-кристаллическія породы Запѣйскаго Алатау разбиты продольными и поперечными сдвигами, изъ которыхъ преобладаютъ первые, т.-е. продольные; они простираются болѣе или менѣе параллельно гребню хребта и достигаютъ наибольшей величины у сѣверной окраины его въ области сланцевой полосы и, вѣроятно, у подножія хребта, гдѣ они маскируются мощными наносами. Наиболѣе отчетливо значительный сдвигъ проявляется на рубежѣ сланцевъ и окраинныхъ гранитовъ.

Кромѣ сдвиговъ, сланцы обнаруживаютъ чрезвычайно интенсивную складчатость, причемъ складки болѣею частью направлены косо, т.-е. мульдами обращены къ сѣверу, а сводами къ югу или къ гребню хребта. Въ долинѣ Кебина наблюдается мѣстами вѣерообразное расположеніе сланцевыхъ слоевъ.

Что касается геологическаго состава равнины, на которой расположенъ г. Вѣрный, то онъ выражается исключительно новѣйшими рѣчными наносами, представляющими устьевые выносы горныхъ рѣчекъ, преимущественно Б. и М. Алматинскъ. У подошвы горъ наносы эти состоятъ преимущественно изъ ледниковыхъ валуновъ, но съ удаленіемъ отъ горъ валуны смѣняются мелкимъ гравіемъ, перемежающимся съ пескомъ и глиной; сѣвернѣе г. Вѣрнаго они становятся еще болѣе глинистыми и, если не прикрываются лёссомъ, то образуютъ довольно рыхлую песчано-глинистую почву степи. Мощность ихъ опредѣлить затруднительно, но во всякомъ случаѣ она довольно разнообразна и варьируетъ въ широкихъ предѣлахъ отъ нѣсколькихъ футовъ (5—10) до нѣсколькихъ десятковъ и даже сотенъ футовъ.

Кромѣ рѣчныхъ наносовъ, въ ближайшихъ предгоріяхъ развиты также ледниковыя отложения, лёссъ и элювий, о которыхъ уже говорилось выше при описаніи обваловъ и оползней.

Приведенный общій очеркъ геологическаго состава и тектоники ближайшихъ окрестностей г. Вѣрнаго и особенно сѣвернаго склона Запѣйскаго Алатау довольно положительно выясняетъ намъ тѣснѣйшую связь между направлениемъ главныхъ продольныхъ сбросовъ въ полосѣ сланцевъ и на границѣ ихъ съ гранитами съ направлениемъ линіи наибольшаго разрушенія въ горахъ и съ направлениемъ линіи ударовъ землетрясенія 28-го мая. Эта связь подтверждается и послѣдующими, по крайней мѣрѣ, наиболѣе сильными ударами, которые исходили изъ той же полосы сбросовъ. Такое же совпаденіе, хотя и менѣе точно констатированное, повидимому, имѣло мѣсто при Бѣло-

водскомъ землетрясеніи 22-го іюля 1885 г., эпицентръ котораго лежалъ выше по склону Александровскаго хребта, гдѣ также и главные сдвиги залегаютъ ближе къ гребню на высотѣ отъ 8.000 до 9.000 футъ. Последнее землетрясеніе 29—30 іюня 1889 года, по отзывамъ очевидцевъ и по официальнымъ сообщеніямъ, повидимому сильнѣе всего проявилось на Чиликѣ, гдѣ, какъ выше указано, констатированъ большой продольный сбросъ на окраинѣ Заилійскаго Алатау и поперечный соответствующій простиранию средней части долины Чилика, т.-е. NW, по которому вѣроятно и слѣдовала линія ударовъ (см. ниже карту фиг. 43).

Наконецъ, прежнія землетрясенія въ г. Вѣрномъ, бывшія напр. 18-го января 1873—1874 г., 2-го декабря 1880 г., 7-го февраля 1881 г. и др. всѣ слѣдуютъ по направленію продольныхъ сбросовъ или же поперечныхъ сдвиговъ (см. фиг. 43).

Словомъ, несмотря на неполноту нашихъ знаній о туркестанскихъ землетрясеніяхъ, едва ли возможно сомнѣваться въ ихъ тѣсной связи, съ одной стороны, съ колебаніями атмосфернаго давленія, а съ другой, съ дислокаціею коры земной, т.-е. съ двумя главнѣйшими факторами, связь землетрясеній съ которыми подтверждается съ каждымъ годомъ если не во всѣхъ, то въ наиболѣе замѣчательныхъ сейсмическихъ областяхъ <sup>1)</sup>.

Изложивъ всѣ особенности Вѣрненскаго землетрясенія 28-го мая, на основаніи собранныхъ нами данныхъ, и указавъ связь его съ другими явленіями природы, попытаемся представить въ заключеніе вѣроятную причину его.

Когда царило крайнее вулканическое направленіе, явившееся какъ реакція не менѣе крайнему непутическому ученію Вернера и закрѣпленное надолго такими авторитетами, какъ Гумбольдтъ, Л. ф. Бухъ и др., тогда всѣ землетрясенія безъ различія рассматривали какъ слѣдствія вулканическихъ изверженій; не стѣснялись даже связывать изверженія Америки съ землетрясеніями Европы или Азіи. Но въ последнее время, когда, рядомъ съ основаніемъ систематическихъ наблюденій надъ землетрясеніями, значительно подвинулось впередъ изученіе орологіи земной поверхности, взгляды на причины землетрясеній измѣнились.

Въ настоящее время всѣ землетрясенія, въ зависимости отъ причинъ ихъ, раздѣляютъ на три главныхъ категоріи:

- 1 — землетрясенія непутическія.
- 2 — „ вулканическія.
- 3 — „ тектоническія.

Первыя обуславливаются различными гидрохимическими процессами или, вообще говоря, дѣятельностью подземной воды; вода, размывая и растворяя породы, образуетъ внутри земной коры огромныя пустоты или пещеры, напр. Мамонтова пещера въ Кентуки до 350 кв. вер., Адельсбергская пещера въ Крайнѣ, Араванская пещера въ Ферганѣ и пр., кровля которыхъ нерѣдко обрушается и производитъ настолькоъ сильный ударъ, что онъ отражается на поверхности землетрясеніемъ. Такія землетрясенія обик-

<sup>1)</sup> См. Физическую Геологію Мушкетова. Т. 1.



новенно приурочиваются къ областямъ, состоящимъ изъ породъ, сравнительно легко растворимыхъ, напр. известняки, доломиты, гипсы, и пр.; періоды ихъ бывають непродолжительны; даже при сильныхъ землетрясеніяхъ этого рода продолжительность ихъ не превышаетъ нѣсколькихъ дней, а въ большинствѣ случаевъ, даже часовъ и минутъ. Исходный пунктъ ихъ залегаетъ неглубоко. Примѣромъ могутъ служить землетрясенія 1880 г. въ Нижней Крайнѣ, также, по мнѣнію Пальміери, землетрясеніе на Исхін, 5 марта 1883 г., глубина котораго не болѣе 1000 метровъ, и пр.

Вторая категория землетрясеній, т.-е. вулканическія, тѣсно связана съ изверженіями вулкановъ и представляетъ, такъ сказать, одно изъ слѣдствій этихъ изверженій. Эпицентръ ихъ большею частью совпадаетъ съ извергающимъ вулканомъ и напряженность ихъ также зависитъ отъ силы изверженія; примѣромъ могутъ служить многочисленные землетрясенія въ окрестностяхъ почти всѣхъ дѣйствующихъ вулкановъ.

Третья категория тектоническихъ или дислокаціонныхъ землетрясеній обуславливается дислокаціею или перемѣщеніемъ частей коры земной и тѣсно связана съ тектоническими процессами, т.-е. со складчатостью, сбросами и сдвигами, происходящими до сихъ поръ въ разныхъ мѣстахъ. Процессы эти обуславливають основной рельефъ земной поверхности и производять тѣ громадныя горныя кряжи, большинство которыхъ образовалось въ послѣднія геологическія эпохи, начиная съ третичной, а многіе, вѣроятно, продолжаютъ увеличиваться и въ настоящее время<sup>1)</sup>. Тамъ, гдѣ происходитъ это движеніе, землетрясенія проявляются часто, причемъ область распространенія ихъ и эпицентръ приурочиваются къ извѣстнымъ элементамъ дислокаціи: къ трещинамъ сбросовъ, сдвиговъ и складчатости. Тектоническія землетрясенія принадлежатъ къ самымъ обширнымъ, нерѣдко площадь сотрясенія ихъ достигаетъ до  $\frac{1}{13}$  поверхности земли, напр. Лиссабонское 1 ноября 1755 г., Козегвинское 1834 г. и пр. Кромѣ того, они отличаются продолжительнымъ періодомъ сотрясенія, иногда до 2-хъ, 3-хъ лѣтъ и глубокимъ залеганіемъ исходнаго пункта.

Хотя всѣ эти три категоріи землетрясеній отличаются другъ отъ друга довольно отчетливыми признаками, но тѣмъ не менѣе въ нѣкоторыхъ случаяхъ бываетъ затруднительно опредѣлить точно причину землетрясеній, напр. если тектоническое землетрясеніе происходитъ въ странѣ вулканической или нештуническое въ новыхъ горныхъ кряжахъ.

Тектоническія землетрясенія въ послѣднее время констатированы во многихъ мѣстахъ, напр. землетрясенія долины Рейна, гдѣ они всегда происходятъ главнымъ образомъ между Бингеномъ и Дюссельдорфомъ и гдѣ Лазò насчиталъ 21 землетрясеніе въ періодъ отъ 1807 по 1881 г. Землетрясенія въ восточныхъ Альпахъ, начиная съ 1596 г., постоянно направляются по двумъ линіямъ, соотвѣтствующимъ линіямъ дислокаціи: термальной и камповой.

Систематическія наблюденія надъ землетрясеніями въ восточныхъ Альпахъ, Японіи,

<sup>1)</sup> См. Физическую Геологію т. I Мушкетова гл. VIII—IX.

Италии, Германии, северной Америке и пр. доказали тѣсную связь землетрясеній съ линиями дислокацій; отсюда является весьма вѣроятное предположеніе, что движеніе земной коры, происходившее въ такихъ громадныхъ размѣрахъ еще въ третичную и даже послѣ-третичную эпоху, къ которымъ относится образованіе самыхъ большихъ горныхъ кряжей, какъ-то: Тянь-шань, Гималай, Анды, Альпы, Кавказъ и др., далеко не успокоилось еще и въ настоящее время; напротивъ, оно продолжается по тѣмъ же линиямъ дислокаціи и обнаруживается частыми сотрясеніями земной поверхности, свойственными всемъ безъ исключенія новымъ горнымъ кряжамъ. Движеніе это, а слѣдовательно, и сотрясеніе большею частью происходитъ весьма медленно, едва замѣтно и только въ рѣдкихъ случаяхъ проявляется катастрофами въ родѣ Вѣрненской, Бѣловодской и Чилинской. Сильныя сотрясенія поверхности вызываются моментальнымъ образованіемъ новыхъ трещинъ, происходящихъ при стяженіи коры земной въ мѣстахъ перегиба складокъ, т.е. гдѣ развивается наибольшее растяженіе породъ и гдѣ чаще всего наблюдается разрывъ сплошности въ складчатыхъ породахъ или же по трещинамъ сбросовъ и сдвиговъ. Если на большихъ ледникахъ образованіе боковыхъ трещинъ, происходящихъ также отъ растяженія льда вслѣдствіе разной скорости теченія въ срединѣ и на бокахъ ледника, сопровождается иногда сильнымъ громомъ и сотрясеніемъ льда, то, очевидно, тотъ же процессъ въ твердыхъ, мощныхъ породахъ долженъ проявляться несравненно болѣе значительнымъ ударомъ и сотрясеніемъ, и чѣмъ глубже онъ происходитъ, тѣмъ обширнѣе область сотрясенія на поверхности. Моментальному разрыву породъ, вызывающему катастрофическія землетрясенія, очевидно помогаютъ рѣзкія колебанія въ давленіи атмосферы. Связь явленій атмосферы съ землетрясеніями давно замѣчена, какъ указано выше и едва ли можно сомнѣваться въ существованіи ея, особенно послѣ работъ гг. Росси, Бертелли, Мильна, Фр. Дарвина и мн. др., изъ которыхъ послѣдній показали, что возвышеніе барометра на одинъ дюймъ надъ площадью, равную Австраліи, понижаетъ уровень суши на два или на три дюйма ниже его средняго уровня, а поверхность воды вдавливается на цѣлый футъ; пониженіе барометра на ту же величину производитъ такое же повышеніе уровня суши и воды, или разница давленія атмосферы въ 65 сантиметровъ на площади въ 2.300 километровъ при упругости земной коры, равной упругости стекла, отклоняетъ отвѣсъ на  $0.1046''$ , т.е. такъ, что масса давящаго воздуха дѣйствуетъ подобно притяженію горы, отклоняющей отвѣсъ. При такихъ условіяхъ очевидно, что процессы дислокаціи, происходящіе медленно и обнаруживающіеся едва замѣтными сотрясеніями, могутъ значительно ускориться и выразиться катастрофой при рѣзкихъ измѣненіяхъ давленія. То, что произошло бы спокойно въ болѣе продолжительное время, при сильномъ пониженіи барометра произойдетъ бурно и въ болѣе короткое время.

Какъ въ ледниковыхъ трещинахъ вслѣдъ за образованіемъ ихъ происходитъ постепенное расширеніе, сопровождаемое болѣе легкимъ гуломъ и сотрясеніемъ, такъ и здѣсь послѣ главнаго сильнѣйшаго удара необходимъ нѣкоторый періодъ для преобра-

зованія трещинъ и приведенія нарушенныхъ породъ въ устойчивое равновѣсіе; пока это происходитъ, до тѣхъ поръ удары не прекратятся. Продолжительность этого періода въ разныхъ мѣстахъ различна (отъ 1 до 5 лѣтъ), и опредѣлить ее невозможно при настоящихъ нашихъ знаніяхъ о землетрясеніяхъ. Вѣрненское землетрясеніе продолжается уже 2½ года и вѣроятно не прекратится ранѣе 3-хъ лѣтъ, хотя, съ другой стороны, судя по аналогіи съ наиболѣе продолжительными періодами землетрясеній, едва ли можно ожидать повторенія такихъ же сильныхъ ударовъ какъ 28-го мая, по крайней мѣрѣ въ текущій періодъ Вѣрненскаго землетрясенія.

Что касается вообще туркестанскихъ землетрясеній, то, основываясь на нѣкоторыхъ наблюденіяхъ 1874 — 75 гг. и убѣдившись тогда же въ отсутствіи дѣйствующихъ вулкановъ въ Тянь-шанѣ, я склоненъ былъ считать ихъ нептуническими и даже высказывалъ это въ своихъ первыхъ отчетахъ о путешествіи по Туркестану <sup>1)</sup>. Это до нѣкоторой степени подтверждалось тѣми отрывочными данными, какими я тогда располагалъ, напр. проявленіе ихъ исключительно весной и во время таянія снѣга, залеганіемъ области сотрясенія въ известнякахъ, богатыхъ пещерами и пр. То же подтверждалось землетрясеніемъ 22 іюля 1885 года въ Бѣловодскѣ, причина котораго, по предположенію Игнатѣева, крылась въ подземныхъ обвалахъ, происходившихъ въ легко размываемыхъ породахъ, дѣйствительно развитыхъ въ предгоріяхъ Александровскаго хребта между деревнею Бѣловодскою и Токмакомъ. Но уже во время сообщенія Игнатѣева въ Имп. Рус. Геогр. Обществѣ 14 декабря 1885 г., профессоръ Г. Д. Романовскій, не отрицая вліянія обвала, высказался, однако, за то, что Бѣловодское землетрясеніе принадлежитъ къ тектоническимъ <sup>2)</sup>.

При отсутствіи подробныхъ наблюденій трудно было рѣшить, какое изъ этихъ предположеній вѣроятнѣе.

Исслѣдованіе Вѣрненскаго землетрясенія 28 мая 1887 г. доставило цѣлый рядъ доказательствъ въ пользу того, что не только оно само, но и почти всѣ сколько-нибудь значительныя землетрясенія Туркестана, въ томъ числѣ и Бѣловодское 22 іюля 1885 г., принадлежать къ тектоническимъ землетрясеніямъ, тѣсно связаннымъ съ дислокаціею Тянь-шаня. Это возможно было предполагать уже по первымъ отрывочнымъ корреспонденціямъ о землетрясеніи 28 мая, что и выражено нѣкоторыми геологами, напр. проф. А. Д. Романовскимъ <sup>3)</sup>, проф. А. Е. Лагоріо <sup>4)</sup> и др. Исслѣдованія же экспедиціи

<sup>1)</sup> См. мой краткій Отчетъ о путешествіи по Туркестану въ 1875 г., въ Запискахъ Имп. Минер. Общ. т. XII—1876 г.

<sup>2)</sup> См. „Извѣстія Им. Русск. Геогр. Общ.“ за 1886 г., т. XXII, стр. 173.

<sup>3)</sup> Геологическій очеркъ Александровскаго хребта въ Сыръ-Дарьинской области Западнѣе Алатау въ Семирѣченской области по отношенію къ господствовавшему тамъ направленію землетрясенія въ теченіе 1885—1887 гг.

<sup>4)</sup> О землетрясеніяхъ и предсказаніяхъ ихъ.—Рѣчь, произнесенная на торжественномъ актѣ Императорскаго Варшавскаго Университета, 30 августа 1887 г.

показали, что за тектоническое происхождение землетрясения 28 мая говорить целый ряд данных: во 1-хъ, характеръ площади эпицентра, вытянутой согласно съ простираниемъ складокъ и сдвиговъ сѣвернаго склона Заилійскаго Алатау; во-2-хъ, залеганіе эпицентра въ области наибольшихъ возмущеній складчатости отъ сбросовъ и сдвиговъ, на высотѣ 5.000 футъ на сѣверномъ склонѣ Заилійскаго Алатау, происшедшихъ по трещинамъ, простирающимся въ томъ же направленіи, въ какомъ вытянутъ эпицентръ; въ 3-хъ, вѣроятная одновременность удара по крайней мѣрѣ по всей длинѣ эпицентра; въ 4-хъ, характеръ плейстоценовой площади и всей обширной области сотрясения, вытянутыхъ также согласно съ общимъ простираниемъ складокъ Тянь-шанской системы и раздвинутой въ томъ же направленіи, т.-е. къ сѣверу, въ какомъ наклонены складки и куда падаютъ трещины сбросовъ; въ 5-хъ, значительная глубина залеганія исходнаго пункта землетрясения, до 10 верстъ; въ 6-хъ, продолжительность періода этого землетрясения болѣе двухъ лѣтъ. Въ 7-хъ, совпаденіе наибольшихъ колебаній барометра съ наступаніемъ сильнѣйшихъ ударовъ, какъ это видно изъ вышеупомянутыхъ сопоставленій г. Вознесенскаго. Главному удару 28-го мая предшествовало значительное пониженіе барометра, сопровождавшееся страшными ливнями, особенно въ горахъ. По отзыву мѣстныхъ жителей изъ послѣдующихъ ударовъ, наиболѣе чувствительные происходили послѣ дождей и сильнаго колебанія барометра; въ 8-хъ, одинаковый характеръ разрушенія по всей линіи ударовъ и измѣненіе его съ удаленіемъ отъ этой линіи.

Такимъ образомъ Вѣрненское землетрясеніе 28 мая 1887 г. принадлежитъ къ категоріи тектоническихъ землетрясеній; а такъ какъ эпицентръ его и другіе элементы вытянуты согласно съ простираниемъ Заилійскаго Алатау, то слѣдовательно оно относится къ группѣ продольныхъ землетрясеній. Судя же по тому, что къ сѣверу оно распространилось дальше, чѣмъ къ югу, то возможно считать его боковымъ, т.-е. эпицентръ его значительно прижимается къ южной сторонѣ области распространенія, а не залегаетъ въ срединѣ ея. Основная причина его кроется въ движеніи горныхъ массъ Заилійскаго Алатау, происходящемъ или вслѣдствіе опусканія отдѣльныхъ частей по трещинамъ сбросовъ и сдвиговъ, или вслѣдствіе горизонтальнаго стяженія, увеличивающаго интенсивность горныхъ складокъ, причѣмъ разрывъ сплошности въ мѣстахъ наибольшаго растяженія или на перегибахъ складокъ сопровождается ударомъ, вызывающимъ сотрясеніе поверхности. Въ данномъ случаѣ, т.-е. при Вѣрненскомъ землетрясеніи трудно раздѣлить роль того и другою движенія, такъ какъ складки и сдвиги одинаково совпадаютъ съ линіею ударовъ и эпицентромъ. Очень можетъ быть, что въ цѣломъ періодѣ Вѣрненскаго землетрясенія то и другое движеніе имѣло мѣсто, хотя мы не можемъ обособить ихъ, какъ въ случаѣ, напр., поперечнаго направленія линіи ударовъ и сдвиговъ, имѣвшихъ мѣсто при небольшихъ землетрясеніяхъ въ окрестностяхъ г. Вѣрнаго въ 1873 г., 1880 г., и при Чиликскомъ 1889 г. (см. фиг. 43) когда линія ударовъ и простираніе области сотрясенія направлялись поперегъ Заилійскаго и Кунгей Алатау. Только по аналогіи съ наблюденіями въ другихъ странахъ

возможно допустить преимущественное значение сбросовъ и сдвиговъ для Вѣрненскаго землетрясенія, что до нѣкоторой степени подтверждается Вѣловодскимъ и послѣднимъ Чиликскимъ землетрясеніями, совпадающими повидимому также съ направлениемъ большихъ сдвиговъ.

Какъ ни малы и медленны эти движенія, тѣмъ не менѣе, при условіяхъ быстрого увеличенія напряженности ихъ, напр., при разныхъ измѣненіяхъ атмосфернаго давленія, они въ состояніи производить сотрясенія и катастрофы, подобныя Вѣрненской.

Тѣ же движенія, кромѣ землетрясеній очевидно должны вліять на измѣненіе высоты горъ: сбросы производятъ мѣстныя пониженія, а складчатость напротивъ общее возвышеніе ихъ; вся система Тянь-шаня произошла вслѣдствіе складчатости. Но благодаря медленности этихъ процессовъ съ одной стороны, а съ другой вслѣдствіемъ постепенной денудации разнообразящей контуры горъ, само собой разумѣется, что болѣе точно опредѣленіе величины измѣненной высоты горъ, а въ томъ числѣ и Заилійскаго Алатау, возможно сдѣлать только повторительными нивелировками черезъ большіе промежутки времени, напр. хотя бы черезъ 30—40 лѣтъ, да проверкою географическаго положенія какихъ либо постоянныхъ пунктовъ, напр. г. Вѣрнаго.

Въ этомъ отношеніи, съ одной стороны, сдѣланный нами профиль (таб. IV) черезъ оба хребта отъ Вѣрнаго до Исыкъ-куля, а съ другой — опредѣленіе астрономическаго пункта въ г. Вѣрномъ, произведенное послѣ землетрясенія 28-го мая, въ будущемъ несомнѣнно послужитъ основой для болѣе точнаго рѣшенія интереснаго и важнаго вопроса измѣненія высоты горъ подъ вліяніемъ тектоническихъ процессовъ.

Причинная связь землетрясеній съ дислокаціею приводитъ еще къ одному важному слѣдствію, а именно, руководствуясь этою связью, возможно на основаніи закона дислокаціи Тянь-шаня указать нѣсколько наиболее вѣроятныхъ сейсмическихъ пунктовъ, въ которыхъ землетрясенія или уже проявлялись, или же могутъ проявляться сильнѣе и чаще, чѣмъ въ другихъ мѣстахъ Тянь-шаня. Такими пунктами въ настоящее время можно считать: 1) нѣкоторыя мѣстности по сѣверному склону Джунгарскаго Алатау, напр. противъ Лепсинска и Копала; 2) южныя окрестности оз. Сайрамъ-норъ; 3) горы Авралъ восточнѣ Кульджи; 4) въ долинѣ Чарына у горъ Турайгырь, по сѣверному склону Заилійскаго Алатау между Кара-турукомъ и горами Согуты, гдѣ и центрируется послѣднее Чиликское землетрясеніе 30-го іюля 1889 г.; также въ сѣстемѣ Б. и М. Алматинокъ и восточнѣ Кастэка противъ ст. Торгапской; 6) Буамское ущелье, окрестности оз. Сонъ-куля и Исыкъ-куля, особенно съ сѣверной стороны; 7) на сѣверномъ склонѣ Александровскаго хребта противъ Токмака и Бѣловодска; 8) на сѣверномъ склонѣ Таласкаго Алатау противъ Ауліэ-ата; 9) въ горахъ Бишчеликъ восточнѣ Ташкента, гдѣ и были сильныя землетрясенія въ 1868 г.; 10) въ верховьяхъ Ангрена въ Ферганѣ; 11) на сѣверномъ склонѣ Алайскаго хребта между г. Ошъ и Гульча, гдѣ центрировалось землетрясеніе 1883 г.; 12) южныя побережья оз. Чатырь-куля и можетъ быть окрестности Кашгара.

Кромѣ этихъ пунктовъ можно бы было привести еще нѣсколько другихъ, но особить ихъ весьма затруднительно.

Въ виду такого значительнаго числа пунктовъ, гдѣ возможно предполагать проявленіе землетрясеній, а также въ виду того, что многіе изъ этихъ землетрясеній, какъ доказываютъ Бѣловодское, Вѣрненское и Чиликское землетрясеніе, распространяются на огромную площадь, выходящую далеко за предѣлы не только Семирѣченской Области, но даже и всего Туркестана; едва ли возможно указать въ культурной полосѣ Семирѣченской Области мѣстность, свободную отъ землетрясеній и годную для перенесенія г. Вѣрнаго. Извѣстно, что подъ влияніемъ бѣдственной катастрофы, постигшей г. Вѣрный, наше правительство возбудило вопросъ о перенесеніи административнаго центра Семирѣченской Области въ другое мѣсто, на подобіе того, какъ нѣкогда изъ Шемахи управленіе губерніи перенесли въ г. Баку. Свои замѣчанія по этому вопросу я изложилъ своевременно, а теперь когда уже рѣшено оставить г. Вѣрный на прежнемъ мѣстѣ и когда самый городъ значительно оправился отъ разрушеній 28-го мая, было бы безцѣльно повторять то же самое.

Въ заключеніе настоящаго отчета считаю нужнымъ указать, что для того, чтобы не блуждать въ догадкахъ и быть готовымъ къ проявленіямъ землетрясеній, необходимо и у насъ, какъ уже начато въ другихъ государствахъ, установить постоянныя сейсмическія наблюденія, если не повсюду въ Россіи, то по крайней мѣрѣ въ областяхъ, часто потрясаемыхъ, какъ-то: въ Забайкальѣ, Туркестанѣ и на Кавказѣ. Желаніе это не ново. У насъ въ Россіи оно высказывалось каждый разъ, когда общественное мнѣніе пробуждалось сильными разрушительными подземными ударами. Извѣстно, что вопросъ объ этомъ поднимался въ 1859 г. послѣ Шемахинскаго землетрясенія, въ 1861—1862 гг. послѣ Байкальскихъ землетрясеній, когда нашъ почтенный, къ сожалѣнію недавно скончавшійся сейсмологъ А. П. Орловъ составилъ даже программу наблюденій; но всѣ эти благія пожеланія замирали по мѣрѣ того, какъ успокоивались подземные удары. Въ настоящее время опять явилось пробужденіе и потому необходимо воспользоваться горькимъ опытомъ и хотя бы сколько-нибудь способствовать развитію знаній о томъ, что такъ тяжело отзывается на благосостояніи нашихъ соотечественниковъ, закинутыхъ судьбой въ сейсмическія окраины.

Поэтому нельзя не пожелать, чтобы сейсмическая коммисія Имп. Рус. Геогр. Общ., имѣющая цѣлью организовать сейсмологическія наблюденія надъ землетрясеніями въ Россіи, нашла себѣ самое полное сочувствіе и поддержку въ обществѣ и правительствѣ.

# DAS ERDBEBEN VON WERNOJE

vom 28 Mai 1887.

---

## Resumé.

Das Erdbeben vom 28 Mai 1887, welches namentlich in der Stadt Wernoje grosse Verheerungen verursachte, hat natürlich in hohem Maasse die Aufmerksamkeit der Gesellschaft, sowie der Regierung auf sich gezogen. Obgleich diese Erschütterung zu den bedeutendsten zu zählen ist, so sind derartige Erscheinungen im Turkestan durchaus nicht vereinzelt, sondern wiederholen sich fast jährlich und wir besitzen Nachrichten von solchen seit dem IX Jahrhundert. Da unter der Katastrophe vom 28 Mai 1887 hauptsächlich die Stadt Wernoje gelitten hat, so ist dieselbe als das Erdbeben von Wernoje bezeichnet worden. Die aussergewöhnlich grosse Verbreitzungszone, die Intensität, sowie die Mannigfaltigkeit der Zerstörungsercheinungen in Niederlassungen sowohl als auch im benachbarten Gebirge verleihen diesem Erdbeben schon an und für sich ein hohes wissenschaftliches Interesse. Die allseitig erschöpfende wissenschaftliche Prüfung desselben erscheint von noch weit grösserer Wichtigkeit, wenn man bedenkt, dass bis jetzt kein einziges der vielen turkestantischen Erdbeben einer genügend consequenten wissenschaftlichen Betrachtung unterworfen worden ist, ein Umstand, in Folge dessen man bisher über deren Natur nur unklare Vorstellungen besass.

Die Grösse der Zerstörungen, unter welchen die Hauptstadt des Semiretschenschen Gebietes, Wernoje, gelitten, trug ausserdem zur Anregung der Frage bei, ob man nicht etwa dies administrative Centrum an einen anderen, weniger bedrohten Ort zu verlegen habe, in ähnlicher Weise, wie man einstens das Verwaltungscentrum von Schemachi nach

Baku verlegt hatte. Dieser letztere Umstand im Verein mit dem rein wissenschaftlichen Interesse trugen ganz besonders zur raschen Ausrüstung einer Expedition zur Untersuchung des Erdbebens vom 28 Mai bei. Zur allseitigen Erwägung der Frage über die Verlegung der Stadt Wernoje an einen geeigneteren Ort wurde auf allerhöchsten Befehl der General-Major à la Suit Zurow delegirt, während die geologische Erforschung der Katastrophe uns zufiel; nur in ersterer Beziehung waren wir dem General Zurow untergestellt. Dagegen wurde ich, als Mitglied des geologischen Comité's, mit der Führung der Expedition, der Organisation der Untersuchungsarbeiten, sowie der Berichterstattung vom Herrn Reichs-Domänen-Minister betraut, obgleich die Kosten der Expedition und des vorliegenden Berichtes vom Bergdepartement übernommen worden sind.

Da unsere Expedition mit Allerhöchster Genehmigung vom Bergdepartement des Reichs-Domänen-Ministeriums erst Ende Juni fertig ausgerüstet wurde und in einer verhältnissmässig sehr kurzen Zeit ein ungeheurer Flächenraum in einem Lande, welches fast unbewohnt, streckenweise eine Wüste und woselbst jede Exkursion nur karawanenweise unternehmbar ist, zudurchforschen war, so musste dieselbe selbstverständlich ueber viele Mitarbeiter gebieten. Ausser mir nahmen an dieser Expedition Theil: Die Herrn Bergingenieure F. P. Brusniztin (welcher zu jener Zeit das Semiretschinsche Gebiet nach productiver Steinkohle durchforschte), I. W. Ignatjew (im Dienste bei dem Steppen-General-Gouverneur), M. N. Ljamin und E. A. Steding (die eben die Bergacademie absolvirt hatten). Dazu kamen noch: der aus St. Petersburg beikommandirte Topograph P. A. Raphajlow; der Topograph des dortigen Bezirkes Strishewski; die dort ansässigen Photographen: S. F. Nikolai und Zeichner N. G. Khludow. Die Mitglieder der Expedition trafen am 24 Juli vollzählig in der Stadt Wernoje ein, doch hatten die Arbeiten schon früher begonnen. Schon vor dem 24 Juli wurden die Folgen des Erdbebens längs der Strecke von der Stadt Sergiopol bis zur Stadt Wernoje von den Herrn Ljamin und Steding studirt; F. P. Brusniztin untersuchte die Zerstörungen im Thale Aksag und Kakselen und I. W. Ignatjew diejenigen in den Thälern der Grossen und Kleinen Almatinka. Nach meiner Ankunft in Wernoje konnte ich krankheitshalber während 2 Wochen leider an den Arbeiten nicht Theil nehmen, während die uebrigen Mitglieder der Expedition damit beschäftigt waren eingehender Weise die Natur der Zerstörungen in der Stadt Wernoje und deren Umgebungen zu studiren; dabei wurden zahlreiche Beobachtungen ueber die Richtung der Risse und Spalten gemacht, wodurch man nach der Methode von Mallet die Richtung, das Epicentrum, sowie die ungefähre Tiefe des Stosspunktes des Erdbebens zu bestimmen vermag, was sonst wegen des absoluten Fehlens von Beobachtungen während des Erdbebens unmöglich gewesen wäre.

Der vorliegende Bericht zerfällt in zwei ungleiche Theile: der erste, grössere, aus drei Kapiteln bestehende umfasst das ganze Thatsachen-Material in Bezug auf die eigentlichen Zerstörungsfolgen des Erdbebens vom 28 Mai, an Gebäuden der Städte und Dörfer sowohl, wie auch in der Natur, namentlich im Gebirge. Hierzu gehören einige



allgemeine Karten und Pläne, sowie Ansichten von besonders instructiven Zerstörungsercheinungen, die aus einer grossen Suite von Photographien (ueber 200. Aus dieser Suite zusammengestellte Album's wurden dem Bergdepartement, dem Geologischen-Comité und der Kaiserl. Russ. Geograph. Gesellschaft uebergeben) ausgewählt worden sind. Dem III Cap. dieses Theiles ist ein Verzeichniss der in den Jahren 1887, 1888, 1889 in Wernoje sowie anderen Theilen des Semiretschinschen Gebietes stattgehabten Erderschütterungen beigegeben. Die zweite Abtheilung d. h. das IV Cap. umfasst allgemeine Betrachtungen und Folgerungen ueber das Erdbeben von Wernoje; es handelt von dessen Eigenthümlichkeiten, Epicentrum, Tiefe des Ausgangsstosses u. s. w., von dessen wahrscheinlicher Ursache, dem geologischen Bau der Epicentrumzone und des pleistoseismischen Flächenraumes des Erdbebens vom 28 Mai; dazu gehört ein geologisches Profil, welches ich nach den Nivellirungsprofilen (des Topographen Raphajlow) von Wernoje über die Pässe Almatinsk und Koi-su bis zum See Issyk-Kul zusammengestellt habe. Da dieses Profil für die späteren Untersuchungen, besonders hinsichtlich der Aenderungen der Gebirgshöhen, von grosser Wichtigkeit sein wird, so halte ich es für geboten auch die Nivellirungslinie mit den von Raphajlow ermittelten Höhenzahlen der hervorragenden Bergspitzen beigegeben. Die Nivellirungslinie ist auf eine 10 Werst Karte des Epicentrumgebietes aufgetragen, d. h. in kleinerem Maassstabe als in Wirklichkeit, um die Ausgabe wohlfeiler zu machen. Das Original jedoch ist in der Bibliothek des Geol. Comité's deponirt.

Vor allem war es natürlich sehr interessant den genauen Zeitpunkt des Eintritt's der Erschütterung zu bestimmen. Die ersten unterirdischen Stösse in Wernoje, die von der Bevölkerung verspürt wurden, fanden etwa um 4 $\frac{1}{2}$  Morgens am 28 Mai statt. Es ist sehr wahrscheinlich dass schwächere Erschütterungen eigentlich viel früher, ja vielleicht sogar tags zuvor abends begonnen haben; man kann darauf schliessen aus vielen Erzählungen der Einwohner über eine eigenthümliche Unruhe der Hausthiere in der Nacht vom 27 auf den 28 Mai; so wollten z. B. die Pferde kein Futter nehmen und zeigten eine sonderbare Ruhelosigkeit; stellenweise konnte man sie kaum in den Höfen festhalten; das Hornvieh, namentlich Kühe, waren, wie uns die Kosaken erzählten, nicht recht „bei sich“; Schweine liefen vom Hofe und man musste sie einsperren; auch bei Hunden wurde eine derartige Unruhe wahrgenommen.

Mit sehr empfindlichen Seismometern hätte man vielleicht auch Stösse konstatiren können, doch die Bevölkerung verspürte davon nichts.

Erst von 4 $\frac{1}{2}$  Uhr Morgens an traten heftigere Stösse ein, welche fast die ganze Bevölkerung vom Schlaf aufschreckten und die Häuser zu verlassen veranlassten; die Stärke dieser Stösse entsprach höchst wahrscheinlich 5 ja sogar 6 Bals der seismischen Scala von Rossy-Forel. Dieselben fanden 5 (nach einigen Angaben 10) Minuten vor dem Hauptstoss statt und man kann sie daher als Vorbotenstösse bezeichnen, welche zwar die Bevölkerung erschreckten, doch vielen das Leben retteten. Die ersten Vorbotenstösse

fanden nach den Aussagen einiger um 4 Uhr 30 Min., anderer um 4 Uhr 34 Min. und laut dem Berichte der meteorologischen Station um 4 Uhr 42 Minuten statt. In den Correspondenzen findet man meist keine genauen Zeitangaben, am häufigsten wird darin von 4 Uhr 30 Min. gesprochen. Im Berichte des Militaigouverneur's wird die Zeit zwar im Einklange mit den Bestimmungen der Meteorologischen Station angegeben, d. h. um 4 Uhr 42 Min. jedoch mit der Bemerkung, dass die ersten Stösse nach anderen mehr verbreiteten Versionen um 4 Uhr 30 Min. statt hatten. Wieder andere geben 4 Uhr 45 Min. an; doch gemäss der Mehrzahl der Privatmittheilungen um 4 Uhr 35 Min. der Ortszeit. Diese letzter Version stimmt mit der Mehrzahl der Angaben ueber das Eintreten der ersten Stösse um 4 Uhr 30 Min. ueberein; sie wird bestätigt von verschiedenen Correspondenzen, welche besagen, dass um 4 Uhr 50 Min. die Stadt nicht nur bereits zerstört war, sondern sogar die Staubwolken sich gelegt hatten; endlich sprechen dafür auch, leider an zu wenigen Punkten ausserhalb Wernoje, namentlich in Illijsk und Taschkent angestellte Beobachtungen ueber die Zeit des Eintretens der stärksten Stösse. In Illijsk blieb während des stärksten Stosses der telegraphische Apparat stehen, wobei 4 Uhr 40 Min. registrirt wurde. Wenn wir annehmen, dass in Illijsk der stärkste Stoss um 4 Uhr 45 Min. oder um 4 Uhr 50 Min. stattfand, so müsste das Beben in Wernoje später eingetreten sein; dies ist schon deswegen unwahrscheinlich, wie wir weiter unten sehen werden, weil Wernoje in der pleistoseimischen Zone und viel näher am Epicentrum gelegen ist. Demnach konnten die Erschütterungen in Illijsk keinesfalls diejenigen in Wernoje ueberholen, sie sind vielmehr als bedeutend abgeschwächte Fortsetzungen jener zu betrachten. Weil der Hauptstoss, wie dies die meisten Augenzeugen bezeugen, in Wernoje um 4 Uhr 35 Min. und in Illijsk um 4 Uhr 40 Min. eintrat, so können wir die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der seismischen Welle nach dem 78 Werst nördlich von Wernoje gelegenen Illijsk hin berechnen: etwa 264, 6 Meter in der Secunde oder 2, 14 Meilen in der Minute; diese Werthe kommen der, von Mallet für verschiedene sedimentaire Gesteine, wie sie auf der Strecke Wernoje-Illijsk entwickelt sind, berechneten Fortpflanzungsgeschwindigkeit (seismischer Wellen) von 250 Meter in der Secunde, sehr nahe; ebenso nahe ist dieser Werth der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Rheinischen Erdbebens vom 28 August 1878, welches von Lasaulx und Schuster zu 2,45 Meilen pro Minute d. h. 302, 16 Meter pro Secunde bestimmt wurde. Im Observatorium von Taschkent ist eine seismische Welle registrirt, welche wahrscheinlich dem stärksten Stosse in Wernoje um 4 Uhr 48 Min. (der Ortszeit) entspricht; korrigirt man die Differenz der Zeiten zwischen diesen beiden Orten und nimmt als Eintritt des Hauptstosses in Wernoje 4 Uhr 35 Mit. an, so resultirt daraus, dass die seismische Welle  $3\frac{1}{2}$  Min. beansprucht hat um eine Strecke von 650 Werst (in gerader Linie) zwischen Wernoje und Taschkent zurückzulegen; somit betrug die Fortpflanzungsschnelligkeit dieser Welle 849,59 Meter pro Secunde oder 6,87 Meilen pro Minute; sie kommt edenfalls der für die massiven homogenen Gesteinen, wie sie

den Tian-Schan zwischen Wernoje und Taschent aufbauen, berechneten sehr nahe; sie weicht endlich wenig von denjenigen für das mitteldeutsche Erdbeben vom 6 März 1872 von v. Seebach ermittelten (742 Meter pro Secunde oder 6 Meilen pro Minute) ab.

Auf Grund der angeführten Betrachtungen und Angaben über die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten nehme ich an, dass die wahrscheinlichste Zeit des Eintretens des stärksten Stosses in Wernoje 4 Uhr 35 Min. am Morgen des 28 Mai 1887 ist. Auf den ersten Stoss folgten andere Stöße, die, wie schon früher erwähnt wurde, 1—2 Minuten anhielten; sie alle können wahrscheinlich als voll 10-ballig nach der Scala von Rossy-Forel geschätzt werden. Während des ganzen 28 Mai's wurden häufige Stöße gespürt, doch weit schwächer. Dieselben traten, wie Augenzeugen berichten, nach Intervallen von 2—3 Minuten ein; auch die gange darauffolgende Nacht wiederholten sie sich; am 29 Mai nahmen Erschütterungen und Stöße an Intensität ab, waren aber immerhin noch häufig, obgleich ihre Zahl nicht genau bekannt ist; am 30 Mai wurden Stöße und Erschütterungen viel schwächer und am 31 Mai wiederholten sie sich nur 4—5 Mal am Tage und 3 Mal nachts. Während der darauffolgenden Tage und Monate wurden die Stöße immer schwächer und die Intervalle dazwischen immer länger. Aus dem beigegebenen Verzeichniss ist ersichtlich, dass sie bis heute noch nicht ganz aufgehört haben.

Stellt man die Resultate der Beobachtungen an zerstörten Gebäuden in Wernoje zusammen, so geht daraus hervor, dass der obere dem Gebirge zunächst liegende und südliche Theil der Stadt viel stärker gelitten hat als der nördliche.

Im oberen Stadttheil sind die Gebäude vollständig zerstört, so dass von etlichen Steinhäusern nur das Holzgerüste stehen geblieben ist (Fig. 9); in anderen Gebäuden senkte sich das Dach und bedeckte die zerstörten Wände (Fig. 10); wieder in anderen neigte sich das Dach nach den auf die Seite gefallenen Mauern (Fig. 11); noch andere waren zwar nicht zerstört, erlitten aber so bedeutende Beschädigungen, dass sie zum Bewohnen ganz untauglich wurden. Im nördlichen Stadttheil dagegen blieben sogar Steinhäuser stehen oder bekamen nur Risse, so dass in einigen davon, wie z. B. in den Häusern der Herrn Radtschenkow und Werestschenko, fast unmittelbar nach dem Erdbeben industrielle Unternehmungen untergebracht werden konnten. Die bedeutendsten Zerstörungsercheinungen an den südlichen Ausgängen der meridionalgelegenen Strassen wurden deutlicher in den westlichen als in den östlichen Stadttheilen wahrgenommen. Die oberen Etagen haben im allgemeinen viel stärker gelitten als die unteren, so wie die Fundamente, und zeigen an etlichen Stellen die Wirkung eines sozusagen verticalen oder wenigstens eines Stosses mit grossem Ausgangswinkel. Die mehrzahl der Fundamente, hauptsächlich die aus gleichartigem gut cementirtem Material bestehenden, blieben unbeschädigt; dagegen sind viele derjenigen, welche aus Rollsteinen mit wenig oder gar keinem Cement zusammengefügt waren, bedeutend gelockert; in folge dieses Umstandes sind sogar

im nördlichen Theile der Stadt Gebäude zerstört worden; etliche andere Gebäude erlitten unbedeutende Senkungen gegen Süden (genauer gegen S. O.  $170^\circ$ ) unter einem Winkel von  $5^\circ$  bis  $12^\circ$ . Am stärksten beschädigt erweisen sich die nördlichen und südlichen Mauern, während die östlichen und westlichen meist bloß rissig geworden sind; nur im süd-westlichen Stadttheil zerfielen einige derselben ganz. In Folge der regelmäßigen Anordnung der Strassen der Stadt nach zwei aufeinander senkrechten Richtungen (fast meridional und nach der Breite) kann man die Verschiedenheiten in der Intensität der Zerstörungserscheinungen an verschiedenen Seiten desselben Gebäudes ziemlich deutlich beobachten.

Diese vorläufigen aus den Zerstörungserscheinungen des Erbebens von Wernoje gezogenen Schlüsse wiesen schon an und für sich darauf hin, dass die seismische Welle vom Süden, d. h. vom Hinterilichen Plateau herkam; das Studium der Spaltenvertheilung dieser Gegend macht dies noch wahrscheinlicher. Aus den oben angeführten Einzelbeobachtungen geht hervor, dass Risse mit meridionalen oder einem wenig davon abweichenden Azimut die grosse Mehrzahl, fast  $72\%$  aller untersuchten Risse ausmachen, während die nach dem entgegengesetzten Azimut gerichteten  $28\%$  derselben nicht übersteigen. Bezüglich des Fallens der Risse oder deren Incidenz gegen den Horizont, geht aus den oben erwähnten Thatsachen hervor, dass der in weiten Grenzen zwischen  $30^\circ$ — $80^\circ$  variirende Fallwinkel der Mehrzahl der Fälle nach mittlere Werthe, zwischen  $30^\circ$  und  $60^\circ$  zeigt. Diese letzteren kommen  $85\%$  sämtlicher gemessenen Fälle zu, während die ersteren nur etwa  $15\%$  aller Messungen zusammengenommen ausmachen. Bei so grossen Schwankungen des Fallwinkels der Risse war es wichtig und interessant die Richtung, in welcher die Veränderung des Fallwinkels vor sich geht, zu verfolgen. Dies bezügliche Beobachtungen haben nur dargegeben, dass der Fallwinkel der Risse, mit einigen Unterbrechungen, immerhin aber deutlich in der Richtung vom südlichen zum nördlichen Stadttheil grösser werde; im südlichen Stadttheil herrschen ausser kleinen vereinzelt Winkel (von  $25^\circ$  bis  $35^\circ$ ) hauptsächlich solche von  $40^\circ$  bis  $50^\circ$  vor, welche letzteren  $41\%$  des Ganzen sind. Im nördlichen Stadttheile wurden statt der kleinen, vereinzelte grössere Winkelwerthe (von  $70^\circ$  bis  $80^\circ$ ) gefunden; daselbst herrschen jedoch solche von  $50^\circ$  bis  $65^\circ$  vor,  $55\%$  aller gemessenen Winkel ausmachend. Uebrigens ist es fast unmöglich eine Grenze zwischen diesen und jenen zu ziehen, da dieselbe sehr unregelmässig und streckenweise in Folge der Abwesenheit von Gebäuden oder der Unregelmässigkeit des Stosses unterbrochen ist. Der Mittelwerth des Fallwinkels für sämtliche Risse ist  $50^\circ$ , für den südlichen Stadttheil jedoch nur  $40^\circ$ .

Wenn die directen Beobachtungen darthun, dass der Fallwinkel der Risse vom Süden nach Norden wachse, so folgt daraus, dass der Ausgangswinkel des unterirdischen Stosses, als Complementärwinkel zum Beobachteten, in derselben Richtung abnehme; da nun der Ausgangswinkel des Stosses mit dessen Entfernung vom Epicentrum des Erbebens ebenfalls kleiner wird, so weisen die Beobachtungen ueber die Veränderung des Fall-

winkels der Risse darauf hin, dass das Epicentrum und Centrum des Erdbebens vom 28 Mai in der Gegend südlich von Wernoje gelegen seien, und bestätigen somit die oben erwähnte Ansicht über die Verbreitung der seismischen Welle vom Süden vom Hinterilijchen Alatau her.

Dafür sprechen ferner Mittheilungen der Augenzeugen, welche ueber <sup>die</sup> Reihenfolge der Zerstörungserscheinungen folgende Facta anführen: 1) im südlichen und südwestlichen Stadtheil traten die Zerstörungen früher ein, als im nördlichen; trotz der grossen Schnelligkeit der Verbreitung der seismischen Welle (in meridionaler Richtung 300 Meter pro Secunde), bestätigen sämtliche Augenzeugen einstimmig die Thatsache, dass der nördliche Stadtheil etwas später als der südliche zerstört wurde, obgleich die Zeitdifferenz ganz minimal gewesen sein musste, kaum einige Secunden. 2) In einzelnen Gebäuden wurden die südlichen und südwestlichen Theile zuerst zerstört und die Zerstörung schritt nicht selten Diagonal durch das ganze Haus vor.

Die Fläche der intensivsten Zerstörungserscheinungen in Wernoje nimmt fast genau den Raum ein, innerhalb dessen die Ausgangswinkel des Stosses zwischen  $40^{\circ}$  bis  $50^{\circ}$  variiren und im Mittel  $45^{\circ}$  betragen. Diese Erscheinung stimmt genau überein mit den Beobachtungen der Seismologen anderer Länder; Mallet hat zum Beispiel schon früher erwiesen, dass die intensivsten Zerstörungsvorgänge an Gebäuden durch Stösse, deren Ausgangswinkel zwischen  $40^{\circ}$  und  $50^{\circ}$  liegen, hervorgebracht wurden. Eine derartige Abhängigkeit der Intensität der Zerstörung von der Grösse des Ausgangswinkels der Stösse wird durch die auf meine Bitte von Herrn E. S. Fedoroff ausgeführte theoretische Berechnung durchaus bestätigt.

Nehmen wir an, dass auf eine verticale Wand AB von unten her ein Stoss wirke, dessen Intensität und Richtung durch OP (Fig. 14) ausgedrückt wird; zerlegen wir

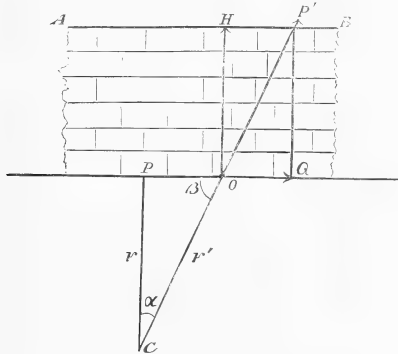


Fig. 14.

diese Kraft in ihre Componenten: die verticale OH, horizontale OQ, so finden wir, dass nur die Componente OQ die Wand zerstören, während die Componente OH diesselbe nur emporzuheben streben wird; folglich können wir nur die horizontale Componente OQ als die zerstörende Kraft bei Erdbeben ansehen.

Die Intensität der Kraft OP' hängt von der Entfernung vom Centrum oder vom Focus des Erdbebens und nimmt mit der Entfernung von demselben ab.

Geht der Stoss von einem einzigen Punkte aus, so ist die Kraft OP' umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung vom Centrum des Erdbebens. Daraus lässt sich leicht die Grösse des Winkels, unter welchem die zerstörende Energie OP' die grösste Componente OQ giebt, berechnen. Mag C das Centrum des Erdbebens, r dessen Entfernung bis zum Epicentrum P auf der Erdoberfläche, und r' die Entfernung bis zum Punkt O bedeuten; den Winkel PCO wollen wir mit  $\alpha$  bezeichnen. Auf Grund des oben erwähnten Satzes finden wir, dass die Kraft  $\frac{PC}{OC} = \frac{r'^2}{r^2}$  (1); führt man die Kraft PC als Einheit ein, so erhalten wir: Kraft OC =  $\frac{r'^2}{r^2} = \text{Cos}^2\alpha$  (2). Die horizontale Componente:

$$OQ = OP' \text{Sin}\alpha, \text{ und daher } OQ = \text{Cos}^2\alpha \text{Sin}\alpha \text{ (3).}$$

Um die Maximalgrösse zu finden, bringen wir die Componente als Gleichung auf O und erhalten:

$$\text{Cos}^2\alpha - 2\text{Cos}\alpha \text{Sin}^2\alpha = \text{Cos}\alpha (\text{Cos}^2\alpha - 2\text{Sin}^2\alpha) = 0 \text{ (4).}$$

Da aber die Grösse  $\text{Cos}\alpha = 0$  der Maximalgrösse nicht entsprechen kann, so bleibt

$$\text{Cos}^2\alpha = 2\text{Sin}^2\alpha \text{ oder } \text{tg}^2\alpha = 0,5 \text{ (5)}$$

$$2 \text{logtg}\alpha = 1,698970, \text{ oder } \text{logtg}\alpha = 1,849485 = \text{logtg } 35\frac{1}{4}^\circ.$$

Diese theoretische Berechnung zeigt also, dass die intensivsten Zerstörungserscheinungen an Gebäuden unter  $\alpha = 35\frac{1}{4}^\circ$ , oder, was dasselbe ist, bei einem Ausgangswinkel des Stosses von  $\beta = 54\frac{3}{4}^\circ$  stattfinden, da der Winkel  $\beta$  im rechtwinkligen Dreieck OPC mit dem Winkel  $\alpha$  complementär zum rechten Winkel ist.

Geht aber der Stoss nicht von einem Punkte, sondern von einer Geraden von unbestimmter Länge aus, was, wie wir später sehen werden, für das Erdbeben von Wernoje viel wahrscheinlicher erscheint, und verbreitet sich derselbe von irgend einem Punkte der Geraden aus nicht nach allen Richtungen, sondern innerhalb einer Ebene, so wird die Energie des Stosses nicht dem Quadrat, sondern nur dem ersten Grade der Entfernung vom Centrum des Stosses proportional sein; statt der Formel (2) finden wir daher dass

$$OC = \text{Cos}\alpha \text{ (2')}, \text{ und erhalten statt der Formel (3)}$$

$OQ = \text{Cos}\alpha \text{ Sin}\alpha = \frac{1}{2} \text{Sin}^2\alpha \text{ (3')}$ ; für  $\alpha$  berechnet sich daraus  $45^\circ$ , und daher ist der Ausgangswinkel  $\beta$ , unter welchem die intensivsten Zerstörungserscheinungen eintreten, ebenfalls gleich  $45^\circ$ .

Demnach geht sowohl aus den theoretischen Berechnungen, als auch aus den an vielen

anderen Erschütterungsgebieten gemachten Beobachtungen klar hervor, dass Ausgangswinkel von  $45^{\circ}$ — $55^{\circ}$  für die Integrität der Gebäude am allergefährlichsten sind.

Wie bereits erwähnt, betrug für den südlichen Stadttheil von Wernoje der Ausgangswinkel des Stosses im Mittel  $45^{\circ}$ ; während des Erdbebens vom 28 Mai befand sich daher dieser Stadttheil in den ungünstigsten Verhältnissen und erlitt daher auch weit grössere Beschädigungen, als alle anderen. Zu deren starken Beschädigung trug auch noch der Umstand bei, dass dort die Gebäude ausschliesslich aus Stein aufgeführt waren, während der nördliche Stadttheil, sowie die Grosse und Kleine Almatinskischen Stanitzen, abgesehen von deren günstigeren Lage in Bezug auf den Ausgangswinkel des Stosses, aus weit stabileren hölzernen Bauten bestanden. Während in Wernoje fast sämtliche aus Stein aufgeführten Bauten (fast 1500 Gebäude) zerstört wurden, zerfielen in der Almatinskischen Stanitza nur die Schornsteine und Oefen der Holzhäuser, die selbst in den meisten Fällen der Zerstörung entgingen; die hohen sogar mit Thürmen ausgestatteten Holzhäuser erlitten weit weniger Beschädigungen, nicht nur im Vergleich mit den hohen, sondern sogar niedrigen Steinhäusern.

Was das Centrum oder den Focus des Erdbebens von Wernoje betrifft, so kann aus dem Character der obenangeführten Elemente gefolgert werden, dass dasselbe in bedeutender Tiefe zu suchen sei. Combiniren wir die verschiedenen Ausgangswinkel und Azimute der Risse, sowie ihre Entfernung vom Epicentrum (nach Mallet's Methode), so erhalten wir für die Tiefenlage des Centrums verschiedene Werthe: im Minimum 5 Werst (genauere 5,5 Werst bei einem Ausgangswinkel von  $60^{\circ}$  und einer Entfernung vom Epicentrum von 10 Werst), im Maximum 15 Werst (bei einem Ausgangswinkel von  $45^{\circ}$  und einer Entfernung vom Epicentrum von 15 Werst); daraus der Mittelwerth für die Tiefe des Erdbebens: 10 Werst. Wir erhalten denselben Werth, wenn wir vom mittleren Ausgangswinkel ( $\beta$ ) von  $45^{\circ}$  und einer Entfernung von etwa 10 Werst ausgehen. Ganz ähnliche Resultate giebt die mit den in Talgara und Kaskelena u. a. O. gemachten Beobachtungen ausgeführte Berechnung, obgleich die Zahl derselben verhältnismässig klein ist. Endlich liefert die graphische Methode von Mallet dieselben Grenzwerte für die Tiefe des Centrums, d. h. 5—15 Werst und im Mittel 10 Werst. Das Erdbeben von Wernoje gleicht am meisten dem Neapolitanischen vom 16 December 1857; es steht nach dem Mitteldeutschen vom Jahre 1872 (14—21 Werst Tiefe) dem Silleinischen von 1858 (etwa 26 Werst Tiefenlage), dem von Herzogenrat von 1873 (5—17 Werst Tiefe), übertrifft jedoch das von Jokohama von 1880 (2. 4—8 Werst Tiefe).

Zur Klarlegung der Ursache eines Erdbebens ist nicht nur die Kenntniss von dessen Elementen, sondern auch deren Connex mit anderen Naturerscheinungen erforderlich. Bei der absoluten Abwesenheit in der Gegend angestellter, fortlaufender und vieljähriger Beobachtungen kann zum Unglück ein solcher Zusammenhang für das Erdbeben von Wernoje nur theilweise und nicht in wünschenswerther Vollständigkeit dargethan werden; wir besitzen daher nur Daten über den atmosphärischen Druck und die Dislocationserscheinungen.

Die Frage über den Connex von Erschütterungen mit Schwankungen des atmosphärischen Druckes ist bereits von Herrn Wosnessensky ausgearbeitet worden; indem dieser Gelehrte fast während eines ganzen Jahres Zahl und Häufigkeit der Stöße mit den monatlichen Schwankungen des Barometers verglich, kam er zu dem Resultate, dass die Steigerung der seismischen Thätigkeit in Wernoje mehr oder weniger mit dem Sinken des Barometers zusammenfalle; so fielen 71% der für diesen ganzen Zeitraum registrirten Stöße mit unter-normalem und nur 29% mit ueber-normalem Stand des Barometers zusammen. Ende Mai, im Juni und Juli zeichnete sich der atmosphärische Druck durch eine bedeutende Verminderung aus; im Juni stieg die Zahl der Tage, an welchen der Barometer unter-normal (für Wernoje 696. 6 mm.) stand auf 28, im Juli auf 31; auf diesen Monat fielen gerade die zahlreichsten und stärksten Stöße, im Juni sind 42 Stöße gezählt worden. Der allerstärkste Hauptstoss vom 28 Mai fiel mit dem stärksten Fallen des Barometers, bis zu 690 mm. zusammen, womit starke Regengüsse verbunden waren. Diese Abhängigkeit, worauf bereits der verstorbene Orloff hingewiesen, wurde sogar von der örtlichen Bevölkerung bemerkt, die einstimmig versichert, dass die unterirdischen Stöße am häufigsten nach Regengüssen einzutreten pflegten.

Derartige reciproke Beziehungen werden endlich durch zahlreiche genaue seismische und barometrische Beobachtungen in anderen Ländern, besonders in Japan und Italien, bestätigt <sup>1)</sup>.

Der Zusammenhang des Erdbebens von Wernoje mit Dislocationen im Hinterlijschen Alatau erscheint noch deutlicher, als mit den Schwankungen des atmosphärischen Druckes.

Der eben angeführte allgemeine Ueberblick ueber die geologischen Verhältnisse und die Tektonik der näheren Umgebung von Wernoje und besonders der nördlichen Gehänge des Hinterlijschen Alatau zeigt uns die engen Beziehungen, welche zwischen den longitudinalen Verwerfungen auf der Grenze der kristallinen Schiefer und der Granite und der Linie der intensivsten Zerstörungserscheinungen im Gebirge, sowie der Richtung der Stöße des Erdbebens vom 28 Mai bestehen. Diese enge Beziehung findet eine fernere Bestätigung in dem Umstand, dass wenigstens die stärkeren der nachfolgenden Stöße offenbar von derselben Verwerfungszone ausgingen. Ein derartiger, weniger genau constatirter Connex fand allem Anscheine nach auch bei den Bjelowod'schen Erdbeben vom 22 Juli 1885 statt; das Epicentrum derselben liegt höher am Gehänge des Alexandrow'schen Massiv's, woselbst näher zum Kamm in einer Höhe von 8000 bis 9000 Fuss die hauptsächlichsten Verwerfungen sich befinden. Das letzte Erdbeben vom 29—30 Juli 1889 wurde nach den Aussagen von Augenzeugen, sowie den officiellen Berichten am intensivsten am Tschilik verspürt, wo, wie oben erwähnt, eine grosse longitudinale Verwerfung und ein Querbruch constatirt worden sind; höchstwahrscheinlich

---

<sup>1)</sup> S. Physische Geologie — Muschketoff's — B. I.

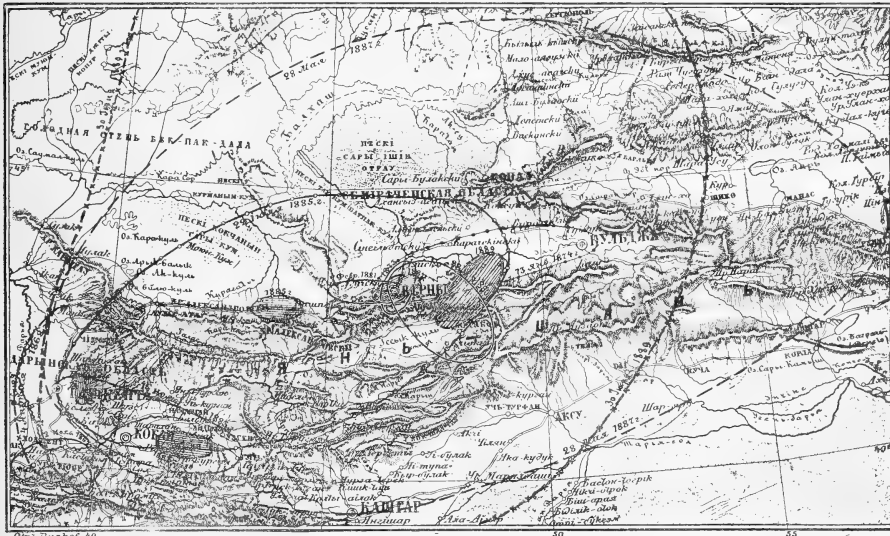


fallen das Epicentrum sowie die Stossrichtung dieses Erdbebens mit der Richtung der Verwerfungen zusammen.

Endlich stimmen die älteren Erdbeben von Wernoje, wie z. B. diejenigen vom 18 Januar 1873—1874, vom 2 December 1880 u. vom 7 Februar 1881 sämtlich mit der Richtung der longitudinalen Verwerfungen oder der Querbrüche ueberein (s. fig. 43).

Das genaue Studium des Erdbebens vom 28 Mai 1887 (von Wernoje) ergab eine ganze Reihe von Thatsachen, welche darthun, dass nicht nur dies Erdbeben, sondern sämtliche bedeutenden Erdbeben im Turkestan (worunter auch das von Bjelowodsk vom

Fig. 43.



Oberflächliche Propagationen und die Epicentren der wichtigsten Erdbeben in Tärkestan.

22 Juli 1885) zur Kategorie der tektonischen Erdbeben zu zählen sind und dass sie in der engsten Beziehung zu den Dislocationen im Tian-Schan stehen. Die Arbeiten der Expedition haben nun dargethan, dass für den tektonischen Charakter des Erdbebens vom 28 Mai 1887 eine ganze Reihe von Thatsachen sprechen.

1) Der Charakter des Flächenraumes des Epicentrum's, welcher parallel der Falten axe und der Richtung der Brüche des nördlichen Gehänges des Hinteriljischen Alatau in die Länge gezogen erscheint.

2) Die Lage des Epicentrum's im Gebiete der intensivsten Falten störungen in Folge von Verwerfungen und Verschiebungen in einer Höhe von 5000 Fuss am nördlichen

Abhänge des Hinterilij'schen Alatau; diese Dislocationen sind längsspalten, die in derselben Richtung, in welcher das Epicentrumgebiet in die Länge gezogen erscheint, streichen, entstanden.

3) Die wahrscheinliche Gleichzeitigkeit des Stosses auf der ganzen Längserstreckung des Epicentrum's.

4) Der Charakter der pleistoseismischen Fläche im ungeheuer grossen Erschütterungsgebiet, welche in gleichem Sine, wie die Faltungen des Tian-Schan'schen Systems in die Länge gezogen und in derselben Richtung, d. h. gegen Norden, verbreiten erscheinen; in dieser Richtung neigen sich die Falten und fallen die Verwerfungsspalten.

5) Die bedeutende Tiefenlage des Ausgangspunktes der Stösse: beizu 10 Werst.

6) Die lange Dauer dieses Erdbebens, welche 2 Jahre beträgt.

7) Das Zusammenfallen der grössten Barometerschwankungen mit dem Eintreten der stärksten Stösse, wie dies aus den obenerwähnten Aufzeichnungen des Herrn Wosnesensky hervorgeht. Dem Hauptstosse vom 28 Mai gingen ein bedeutendes Sinken des Barometers und, namentlich im Gebirge, sehr starke Regengüsse voran. Nach den Aussagen der Ortsbewohner traten die bedeutenderen der nachfolgenden Stösse nach Regengüssen und starken Barometerschwankungen ein.

8) Die Gleichartigkeit der Zerstörungerscheinungen auf der ganzen Stosslinie, so wie deren Veränderung mit ihrer Entfernung von dieser Linie.

Somit gehört das Erdbeben von Wernoje vom 28 Mai 1887 zur Kategorie der tectonischen Erdbeben; und da das Epicentrum und die übrigen Elemente desselben im Sinne des Streichens des Hinterilij'schen Alatau in die Länge gezogen erscheinen, zur Gruppe der longitudinalen Erdbeben. Da sich nun ferner dasselbe gegen Norden weiter, als gegen Süden verbreitet hat, so dass sich dessen Epicentrum an der südlichen Seite des Verbreitungsgebietes, statt in der Mitte desselben, befindet, so kann man es als ein seitliches bezeichnen. Die Hauptursache dieses Erdbebens liegt in Bewegungserscheinungen im Gebirgsmassiv des Hinterilij'schen Alatau; dieselben documentiren sich entweder in Senkungen von Gebirgstheilen längs den Verwerfungsspalten, Brüchen oder im horizontalen Schub, welcher die Gebirgsfaltungen zu steigen strebt; die Bildung von Rissen an am intensivsten gespannten Stellen oder an den Sätteln umgebogener Anticlinalfalten, ist von Stössen begleitet, die Erschütterungen der Oberfläche verursachen. Im vorliegenden Falle, d. h. bei dem Erdbeben von Wernoje, ist es schwer die Wirkungen beider Bewegungsarten auseinanderzuhalten, da sowohl Falten, wie Verwerfungen mit der Stosslinie und dem Epicentrum zusammenfallen. Uebrigens kann es wohl möglich sein, dass während der ganzen Erdbebenperiode von Wernoje beide Bewegungsarten stattfanden, obgleich wir dieselben nicht zu trennen vermögen, wie dies z. B., für die weniger bedeutenden Erschütterungen in der Umgegend von Wernoje in den Jahren 1873 und 1880 möglich gewesen ist; in diesem letzteren Falle nämlich durchquerten die Stosslinie und das Erschütterungsgebiet den Hinterilij'schen und Kungej-Alatau. Nur nach

Analogie mit in anderen Gebieten angestellten Beobachtungen kann man einen ursächlichen Zusammenhang der Verwerfungen und Verschiebungen mit dem Erdbeben von Wernoje annehmen; diese Annahme findet einigermaßen in dem Bjelowod'schen und dem letzten Tschilik'schen Erdbeben, die allem Anscheine nach ebenfalls mit der Richtung grosser Verschiebungen zusammenfallen, eine Bestätigung. So gering und langsam derartige Bewegungsvorgänge auch sein mögen, so können sie doch bei rascher Steigerung ihrer Spannung, wie z. B. bei Aenderungen des atmosphärischen Druckes, Erschütterungen und Katastrophen, ähnlich derjenigen von Wernoje, zur Folge haben.

Aus dem ursächlichen Zusammenhang von Erdbeben mit Dislocationserscheinungen lässt sich noch ein anderer wichtiger Schluss ziehen: die Betrachtung des Wesens der Dislocationen im Tian-Schan ermöglicht uns einige Punkte zu bestimmen, an welchen sich die seismische Thätigkeit ganz besonders localisieren wird; an diesen Punkten sind Erderschütterungen bereits verspürt worden oder können noch stärker und öfter als an andern Orten im Tian-Schan stattfinden. Zu solchen Localitäten können gegenwärtig gezählt werden:

- 1) Einige Gebiete am nördlichen Abhange des Dschungarischen Alatau, z. B. gegenüber Lepsinsk und Kopal.
- 2) Die südliche Umgegend des See's Sayram-Nor.
- 3) Das Gebirge Awral westlich von der Kuldsha.
- 4) Das Thal des Tscharyn im Gebirge Turajgyr, am nördlichen Gehänge des Hinterilj'schen Alatau zwischen Karaturuk und dem Gebirge Soguta, woselbst sich allem Anscheine nach das letzte Tschilin'sche Erdbeben vom 30 Juni 1889 centralisirt hat; desgleichen das System der Grossen und Kleinen Almatinka und westlich von Kastek gegenüber der Targap'schen Stanitza.
- 5) Der Buamische Canon, die Umgebung der See Son-Kul und Issyk-Kul, besonders gegen Norden.
- 7) Der nördliche Abhang des Alexandrow'schen Massiv's gegenüber Tokmak und Bjelowodsk.
- 8) Der nördliche Abhang des Talaskischen Alatau gegenüber Aulie-ata.
- 9) Das Gebirge Bischschelik westlich von Taschkent, wo im Jahre 1868 heftige Erschütterungen verspürt worden sind.
- 10) Das Quellgebiet des Flusses Angren im Fergana.
- 11) Der nördliche Abhang des Alajschen Gebirges zwischen den Städten Osch und Gultscha, wo sich das Erdbeben vom Jahre 1883 centralisirt hat.
- 12) Die südliche Ufergegend des See's Tschatyr-Kul und vielleicht auch die Umgegend von Kaschgar.

Ausser diesen Orten könnten noch einige andere angeführt werden, doch wäre es sehr schwer darunter eine Auswahl zu treffen.

Die bedeutende Anzahl solcher Orte, an welchen man das Eintreten von Erder-

schütterungen mit einiger Wahrscheinlichkeit voraussehen kann, sowie das ausserordentlich grosse Verbreitungsgebiet der Erdbeben (wie dies die Erdbeben von Bjelowodsk, Wernoje und Tschilik beweisen), welches weit über die Grenzen des Semiretschin'schen Gebietes und sogar des ganzen Turkestans hinübergreift, erlauben kaum innerhalb des bewohnten Streifens im Semiretschin'schen Gebiet einen Punkt zu bezeichnen, der frei von Erderschütterungen und daher zur Verlegung der Stadt Wernoje geeignet wäre.

Meine Bemerkungen, welche diese Frage berühren, habe ich seinerzeit eingereicht; jetzt aber, da man bereits beschlossen hat Wernoje an dem alten Ort zu lassen und da sich die Stadt von der Katastrophe vom 28 Mai fast ganz wieder erholt hat, wäre es zwecklos dasselbe zu wiederholen.

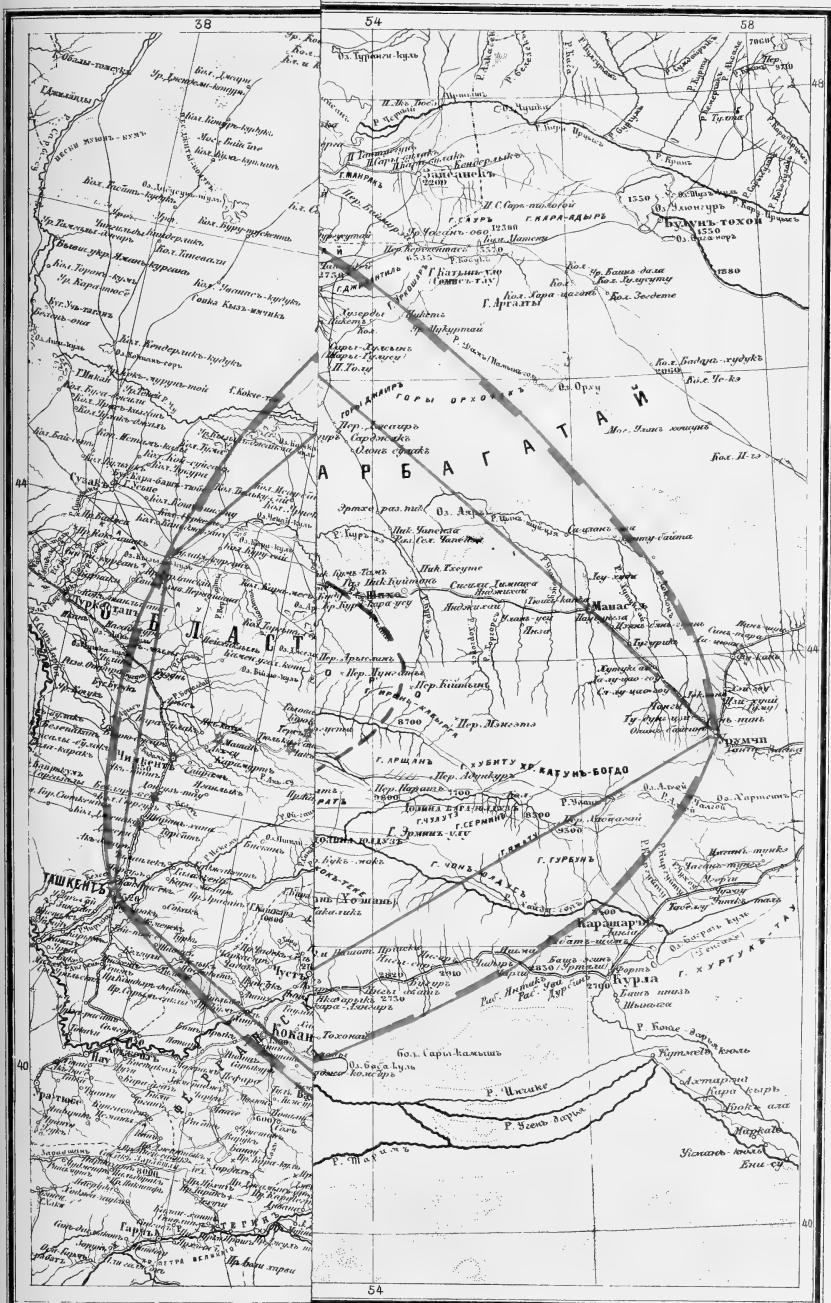
Zum Schlusse kann ich nicht genug hervorheben, wie wünschenswerth und nothwendig es wäre, dass auch bei uns in Russland, wie dies fast in allen anderen Staaten längst schon geschehen ist, eine Reihe ständiger seismatischer Beobachtungsposten errichtet werden mögen. Kann dies nicht auf einmal für ganz Russland durchgeführt werden, so müsste man wenigstens derartige Gebiete, die besonders häufig erschüttert werden, damit ausstatten; zu derartigen Gebieten gehören namentlich die Gegend östlich vom Baikalsee, der Turkestan und der Kaukasus. Die Initiative zur Organisation derartiger seismischer Beobachtungsstationen ist bereits von der Kaiserlichen Russischen Geographischen Gesellschaft ergriffen worden.

*J. Muschetoff.*



НЯ) 1887

(JUN) 1887

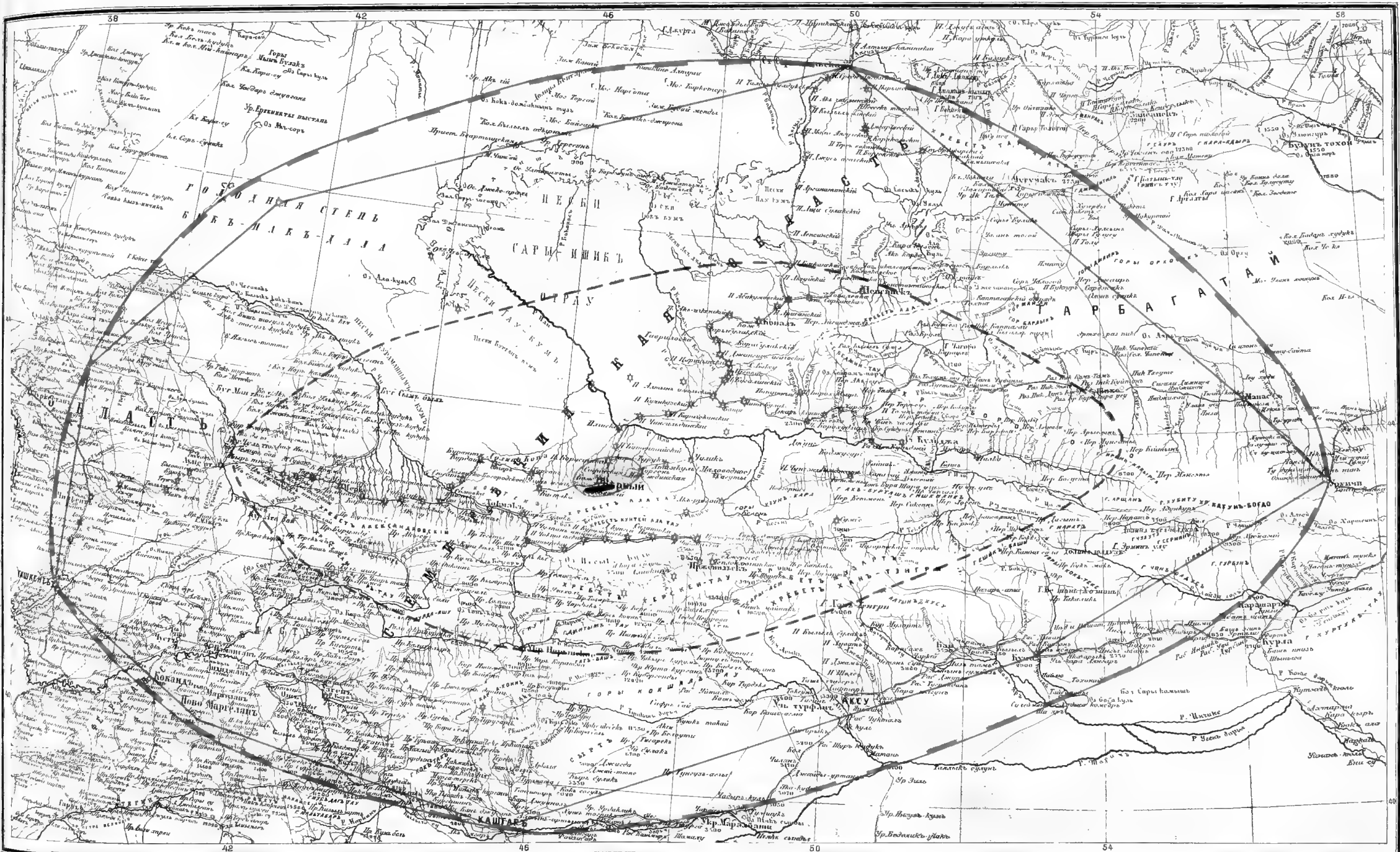


Лит. И. О. ИВАНОВА, офицерская, № 17

Область распро-  
 странения  
 Виринского зем-  
 Le terrain de la  
 propagation de  
 наибольшая  
 область  
 распространения  
 землетрясений



КАРТА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЪРНЕНСКАГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 28-МАЯ (9-ІЮНЯ) 1887  
**И. МУШКЕТОВА.**  
 CARTE DE LA PROPAGATION DU TREMBLEMENT DE LA TERRE DE VERNY 28-MAI (9-JUIN) 1887  
**PAR I. MOUSKETOW.**



**УСЛОВНЫЕ ЗНАКИ**  
**LEGENDE**

Область распространения  
 Върненскаго землетрясенія  
 Le terrain de la propagation du  
 tremblement de terre de Verny  
 предполагаемая  
 область

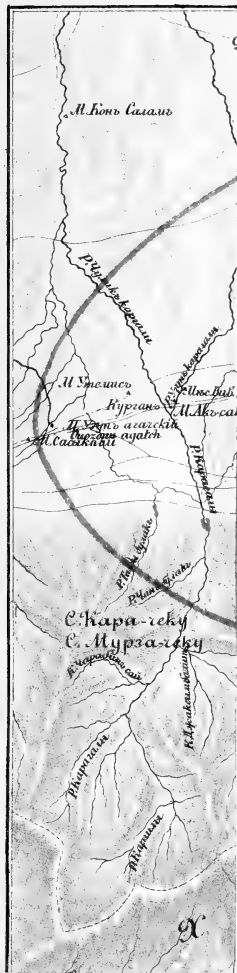
Предполагаемая область  
 распространения подзем-  
 ного шума  
 Le terrain suppose de la propagation  
 du bruit souterrain.

Центръ  
 Epicentre

Пункты општепознаго проявленія  
 землетрясенія  
 Les points d'édanlement









# КАРТА

Эпицентра и Плейстоценовой области Вюрненского землетрясения 28 Мая 1887г.

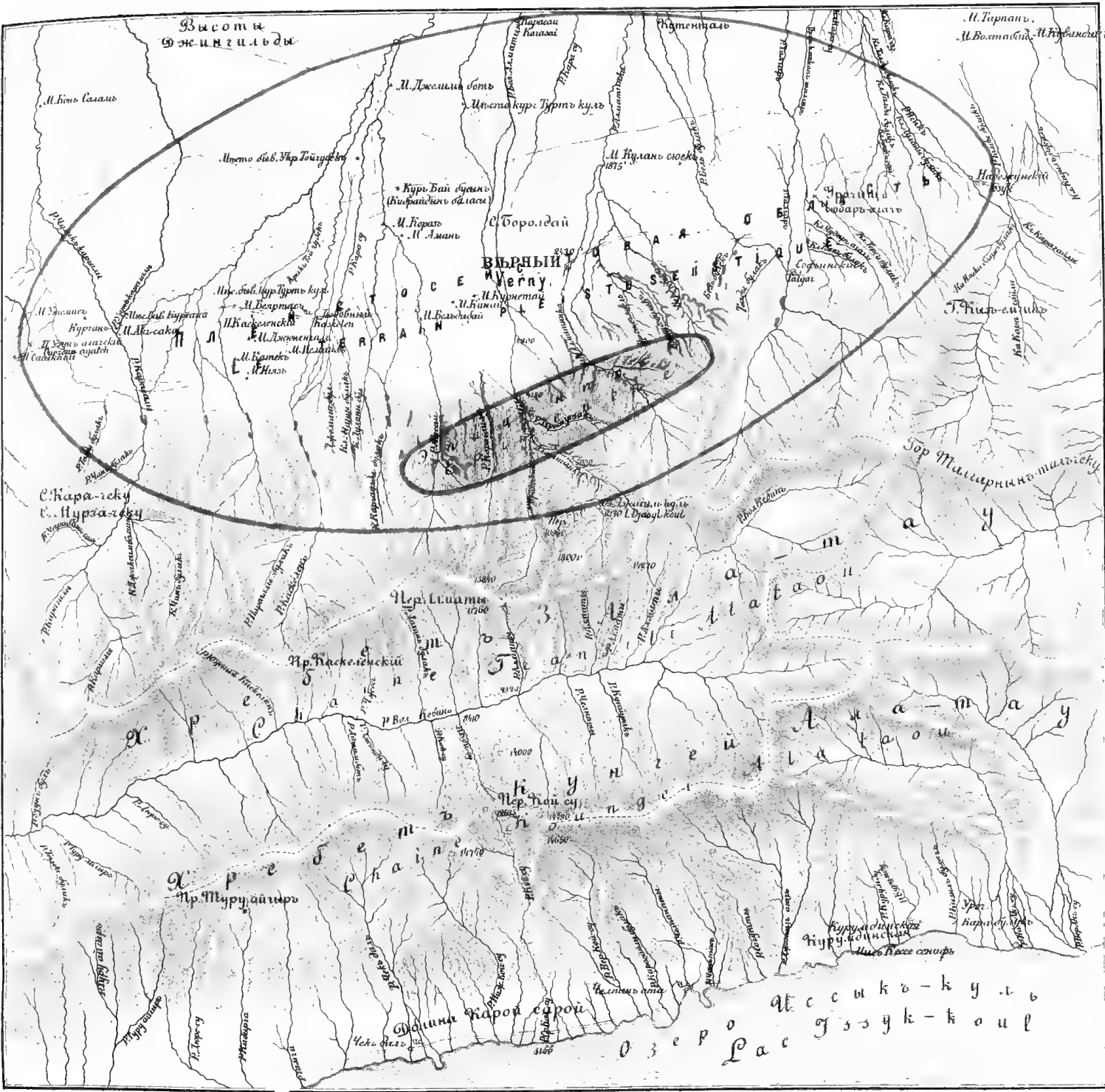
Carte d'épicentre et du terrain pleistocène du tremblement de la terre de Vornu 28 Mai 1887

— Н. МУШКЕТОВА —

— PAR M. MUSHKETOFF —

МАСШТАБЪ 10 вер. въ дюймъ.

1:42000



УСЛОВНЫЕ ЗНАКИ.  
Legendre.

ПЛЕЙСТОЦЕНОВАЯ ОБЛАСТЬ. — ЭПИЦЕНТРЪ. — Оползни, обвалы, провалы, сдвиги и оплывины.  
 LE TERRAIN PLEISTOCÈNE. — EPICENTRE. — EBOULEMENTS, GLISSEMENTS, EFFONDEMENTS, FAILLES ETC.

Лит И О ВЕАЖЕВЪ Офицеръ гвар. № 77







# КАРТА

ОПОЛЗНЕЙ, ОБВАЛОВЪ И ОПЛЫВИНЪ ВЪ  
НИЖНЕЙ ЧАСТИ УЩЕЛЬЯ АКСАЙ  
ПРОИЗВЕДЕННЫХЪ ЗЕМЛЕТРЯ-  
СЕНІЕМЪ 1887 г. <sup>28 Мая</sup>  
<sub>9 ЮНЯ</sub>

**И. В. МУШКЕТОВА.**

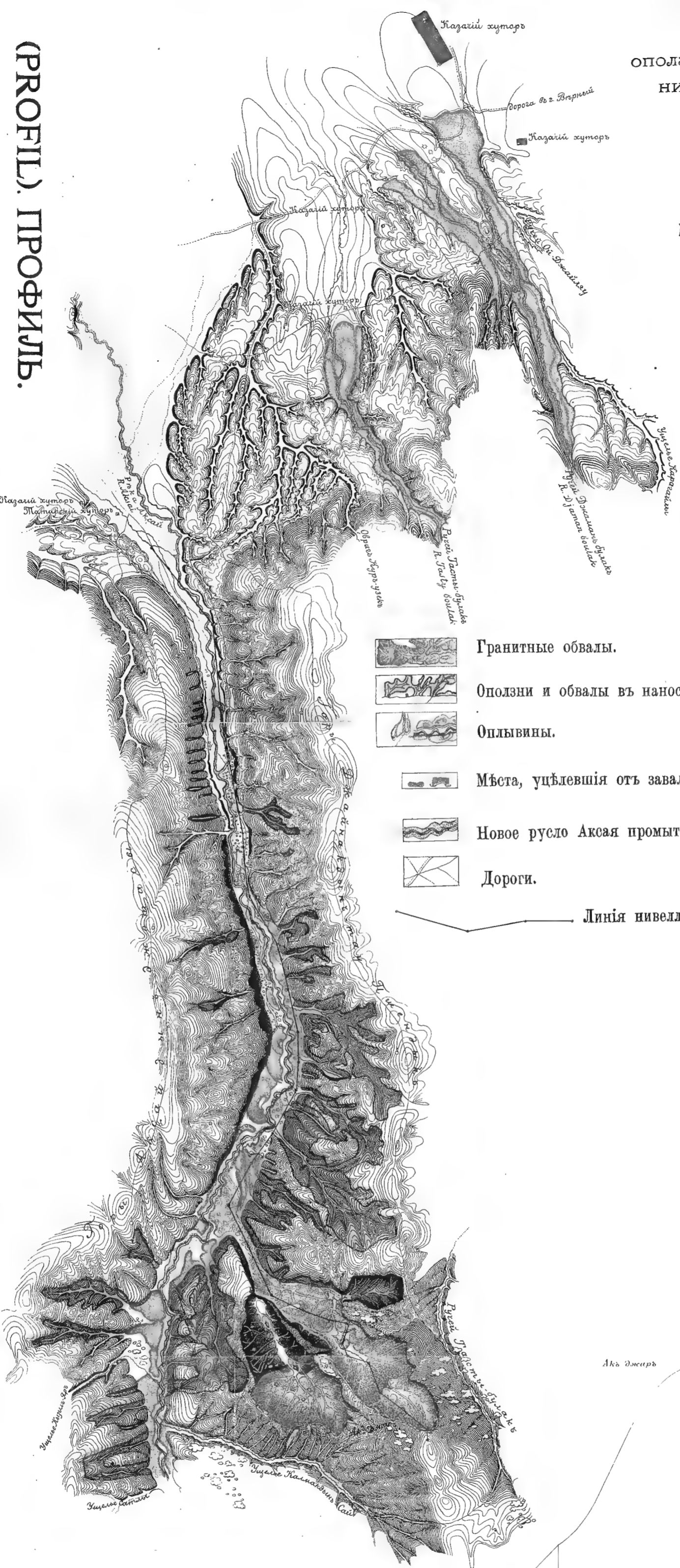
По съемкѣ Капитана СТРИЖЕВСКАГО.

МАСШТАБЪ  
въ Английскомъ дюймѣ 250 саж.  
0 100 200 300 400 500 саж.

# KARTE

DES EBOULEMENTS, GLISSEMENTS ET EFFONDEMENTS DANS  
LA VALLEE D'AKSAI APRES LE TREMBLEMENT  
DE TERRE DE VERNY <sup>28 Mai</sup>  
<sub>9 Juin</sub> 1887.

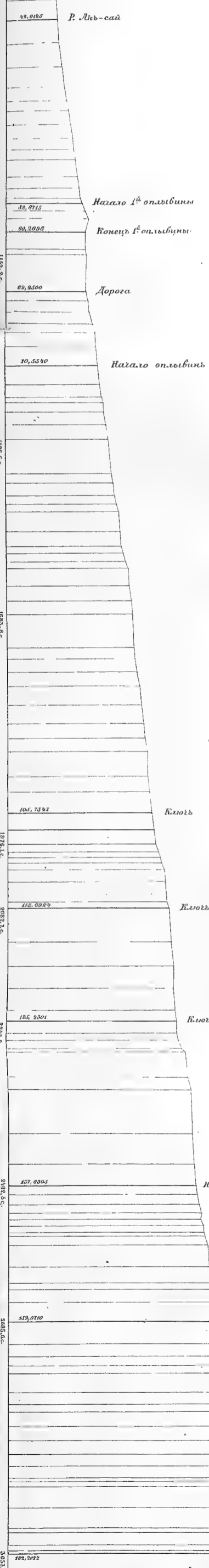
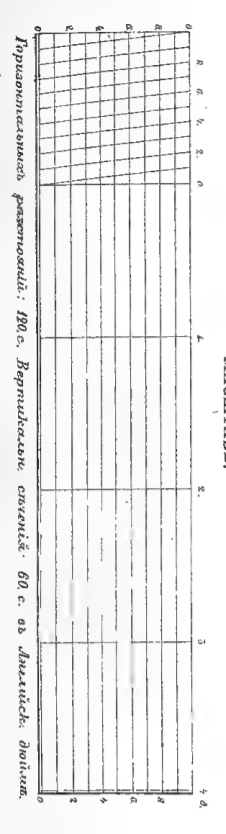
**PAR I. MOUSKETOV.**



## (ПРОФИЛ.) ПРОФИЛЬ.

Нивелировки Аксайскаго ущелья раз-  
рушеннаго землетрясеніемъ 28-го Мая  
1887 года, произведенной при Омскомъ  
В. Т. Отдѣлѣ.

МАСШТАБЪ.



## ПРОФИЛЬ АКЪ-ДЖАРА.

Горизонтальныхъ разстояній: 120 с. Вертикальн. ступеня: 60 с. въ Английск. дюймѣ.





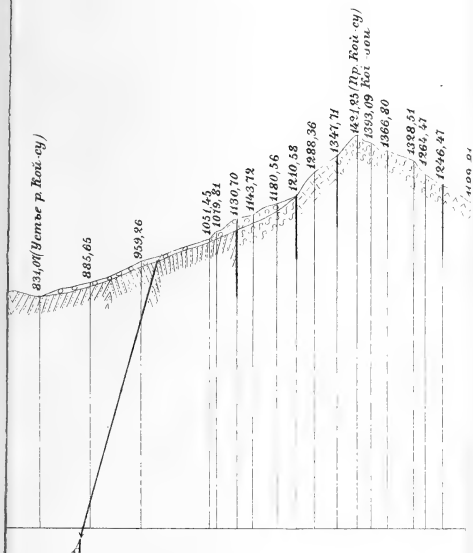


5018 ф).

Ф)

и Алматы в Залийской  
Южн. Кой-су.

доимт



 Порфиры  
Porphyries

 Порфириты и диориты  
Porphyrites a diorites



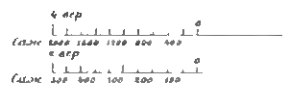
# ПРОФИЛЬ ОТЪ Г. ВЪРНАГО (2430 Ф) ДО ОЗ. ИССЫКЪ-КУЛЯ (5018 Ф).

PROFIL DE VERNY (2430 F) JUSQU'À ISSYK-KOUL (5018 F)

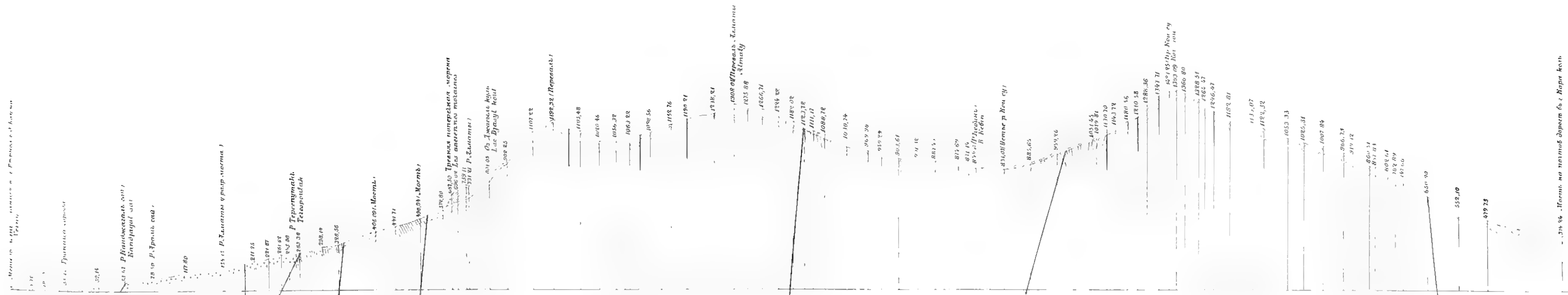
Составленный по нивелировке П.А. Вафанова вдоль долины Большой Алматинки, перевала Алматы въ Замийсконъ Алатау (11586 ф.) и Кой-су въ Кунгей Алатау (12380) и вдоль долины Юж. Кой-су.

И. В. МУШКЕТОВА  
PAR J. V. MOUSKÉTOV

Насштабъ



версты  
Горизонтальный 1 вер въ дюймъ  
версты  
Вертикальный 1 вер





## ИЗДАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАГО КОМИТЕТА.

### Труды Геологического Комитета:

- Томъ I**, № 1, 1883. **И. Лагузевъ**. Фауна юрскихъ образованій Рязанской губерніи. (J. Lahusen. Die Fauna der jurassischen Bildungen des Rjasanschen Gouvernements). Съ 11 таблицами ископаемыхъ и 1 картою. Ц. 3 р. 60 к.
- № 2, 1884 г. **С. Никитинъ**. Общая геологическая карта Россіи. Листъ 56-й. (S. Nikitin. Allgemeine geologische Karte von Russland. Blatt 56). Съ отдѣльною геологическою картою и 3 таблицами ископаемыхъ. Ц. 3 р. (Одна геологическая карта 56-го листа безъ сочиненія—75 к.).
- № 3, 1884 г. **О. Чернышевъ**. Матеріалы къ изученію девонскихъ отложений Россіи. (Th. Tschernyschew. Materialien zur Kenntniss der devonischen Ablagerungen in Russland). Съ 3 таблицами ископаемыхъ. Ц. 2 р.
- № 4 (и послѣдній), 1885. **И. Мушкетовъ**. Геологическій очеркъ Липецкаго уѣзда въ связи съ минеральными источниками г. Липецка. (J. Mouchketoff. Aperçu géologique du district de Lipetz et des sources minérales de la ville de Lipetz). Съ картою и планомъ. Ц. 1 р. 25 к.
- Томъ II**, № 1, 1885. **С. Никитинъ**. Общая геологическая карта Россіи. Листъ 71-й. (S. Nikitin. Allgemeine geologische Karte von Russland. Blatt 71). Съ отдѣльною картою и 8 таблицами ископаемыхъ. Ц. 4 р. 50 к. (Одна геологическая карта 71-го листа безъ сочиненія—75 к.).
- № 2, 1885 г. **И. Синцовъ**. Общая геологическая карта Россіи. Листъ 93-й. Западная часть. (J. Sintzov. Carte géologique générale de la Russie. Feuille 93. Partie occidentale). Съ отдѣльною картою. Ц. 2 р. (Одна геологическая карта западной части 93-го листа безъ сочиненія—50 к.).
- № 3, 1886 г. **А. Павловъ**. Аммониты зоны *Aspidoceras acanthicum* восточной Россіи. (A. Pavlow. Les Ammonites de la zone à *Aspidoceras acanthicum* de l'est de la Russie). Съ 10-ю таблицами. Ц. 3 р. 50 к.
- № 4, 1887. **И. Шмальгаузенъ**. Описание остатковъ растений артинскихъ и пермскихъ отложений. (J. Schmalhausen. Die Pflanzenreste der artinskischen und permischen Ablagerungen im Osten des Europäischen Russland). Съ 7-ю табл. Ц. 1 р.
- № 5 (и послѣдній), 1887 г. **А. Павловъ**. Самарская лука и Жегули. Геологическое изслѣдованіе. (A. Pavlow. La presqu'île de Samara et les Gegouli. Etude géologique). Съ картою и 2-мя таблицами. Ц. 1 р. 25 к.
- Томъ III**, № 1, 1885 г. **О. Чернышевъ**. Фауна нижняго девона западнаго склона Урала. (Th. Tschernyschew. Die Fauna des unteren Devon am West-Abhange des Urals). Съ 9-ю таблицами ископаемыхъ. Ц. 3 р. 50 к.
- № 2, 1886 г. **А. Карпинскій, О. Чернышевъ и Ал. Тилло**. Общая геологическая карта Европейской Россіи. Листъ 139-й. (A. Karpinsky, Th. Tschernyschew et A. de Tillo. Carte géologique générale de la Russie d'Europe. Feuille 139). Цѣна (съ геолог. картою) 3 р. (Одна геолог. карта безъ сочиненія—75 к.).
- № 3, 1887 г. **О. Чернышевъ**. Фауна средняго и верхняго девона западнаго склона Урала. (Th. Tschernyschew. Die Fauna des mittleren und oberen Devon am West-Abhange des Urals). Съ 14-ю таблицами ископаемыхъ. Ц. 6 р.
- № 4, 1889 г. **О. Чернышевъ**. Общая геологическая карта Россіи. Листъ 139-й. Описание центральной части Урала и западнаго его склона. (Th. Tschernyschew. Allgemeine geologische Karte von Russland. Blatt 139. Beschreibung des Central-Urals und des Westabhanges). Съ 7-ю таблицами. Ц. 7 р.
- Томъ IV**, № 1, 1887 г. **А. Зайцевъ**. Общая геологическая карта Россіи. Листъ 138. Геологическое описание Ревдинскаго и Верхъ-Исетскаго округовъ. (A. Saytzev. Allgemeine geologische Karte von Russland. Blatt 138. Geologische Beschreibung der Kreise Rewdinsk und Werch-Issetsk). Съ геологическою картою. Ц. 2 р.

- Томъ V**, № 2, 1888 г. **С. Никитинъ**. Слѣды мѣлового періода въ центральной Россіи. (S. Nikitin. Les vestiges de la période crétacé dans la Russie centrale). Съ 5-ю таблицами ископаемыхъ и картой. Цѣна 4 р.
- № 3, 1888 г. **М. Цвѣтаева**. Головоногія верхняго яруса среднерусскаго каменноугольнаго известняка. (Marie Tzwetaev. Cephalopodes de la section supérieure du calcaire carbonifère de la Russie centrale). Съ 6-ю таблицами ископаемыхъ. Цѣна 2 руб.
- № 4, 1888 г. **А. Штукенбергъ**. Кораллы и мшанки верхняго яруса среднерусскаго каменноугольнаго известняка. (A. Stuckenber. Anthozoen und Bryozoen des oberen Kohlenkalks). Съ 4-мя таблицами ископаемыхъ. Цѣна 1 р. 50 к.
- Томъ VI**, 1888 г. **П. Кротовъ**. Геологическія изслѣдованія на западномъ склонѣ Соликамскаго и Чердынскаго Урала. (P. Krotov. Geologische Forschungen am westlichen Ural-Abhange in den Gebieten von Tscherdyn und Ssolikamsk). Съ отдѣльною геологическою картою и 2-мя таблицами ископаемыхъ. Ц. 8 р. 25 к. (Одна геологическая карта безъ сочиненія 75 к.).
- Томъ VII**, № 1, 1888 г. **Н. Синцовъ**. Общая геологическая карта Россіи. Листъ 92-й. (I. Sintzov. Carte géologique générale de la Russie. Feuille 92). Съ отдѣльною картою и 2-мя таблицами ископаемыхъ. Ц. 2 р. 50 к. (Одна геологическая карта безъ сочиненія—75 к.)
- № 2, 1888 г. **С. Никитинъ** и **П. Ососковъ**. Заволжье въ области 92-го листа Общей геологической карты Россіи. (S. Nikitin et P. Ossoskov. La région transvolgienne de la feuille 92 de la carte général de la Russie). Ц. 50 коп.
- Томъ VIII**, № 1. **І. Лагузенъ**. Ауцеллы, встрѣчающіяся въ Россіи. (J. Lahusen. Ueber die Russischen Aucellen). Съ 5-ю таблицами. Цѣна 1 руб. 60 коп.
- Томъ IX**, № 1, 1889 г. **Н. Соколовъ**. Общая геологическая карта Россіи. Листъ 48. Съ приложеніемъ статьи Е. Федорова: Микроскопическое изслѣдованіе кристаллическихъ породъ изъ области 48-го листа (N. Sokolow. Allgemeine geologische Karte von Russland. Blatt 48). Съ отдѣльною геологическою картою. Ц. 4 р. 75 к. (Отдѣльно геол. карта 48 листъ—75 к.).

#### Извѣстія Геологическаго Комитета:

- |  |                         |
|--|-------------------------|
| Томъ I, 1882 г. Ц. 45 к.                   | } Отдѣльные №№ по 35 к. |
| Томъ II, 1883 г., №№ 1—9. Ц. 2 р. 50 к.    |                         |
| Томъ III, 1884 г., №№ 1—10. Ц. 2 р. 50 к.  |                         |
| Томъ IV, 1885 г., №№ 1—10. Ц. 2 р. 50 к.   |                         |
| Томъ V, 1886 г., №№ 1—11. Ц. 2 р. 50 к.    |                         |
| Томъ VI, 1887 г., №№ 1—12. Ц. 2 р. 50 к.   |                         |
| Томъ VII, 1888 г., №№ 1—10. Ц. 2 р. 50 к.  |                         |
| Томъ VIII, 1889 г. Годовая цѣна 2 р. 50 к. |                         |

**С. Никитинъ**. Русская геологическая библіотека за 1885, 86, 87 и 88 г. (S. Nikitin. Bibliothèque géologique de la Russie 1885, 86, 87 et 88). (Приложеніе къ Извѣстіямъ Геологическаго Комитета). Ц. 1 р. за годъ.

Протоколъ засѣданій Присутствія Геологическаго Комитета по обсужденію вопроса объ организаціи почвенныхъ изслѣдованій въ Россіи. (Приложеніе къ VI-му тому «Извѣстій Геологич. Комит.»). Цѣна 35 коп.

Продаются въ С.-Петербургѣ: въ книжныхъ магазинахъ Эггерсъ и К°, „Новаго Времени“ и картографическомъ магазинѣ Ильина; въ Парижѣ—у D-r Dagincourt, Comptoir géologique de Paris, 15, Rue de Tournon.

ТРУДЫ ГЕОЛОГИЧЕСКАГО КОМИТЕТА. MÉMOIRES DU COMITÉ GÉOLOGIQUE.  
Томъ X, № 2. Volume X, № 2.

ТЕОДОЛИТНЫЙ МЕТОДЪ  
ВЪ  
МИНЕРАЛОГИИ И ПЕТРОГРАФИИ

**Е. С. ФЕДОРОВА**

КОНСЕРВАТОРА ГЕОЛОГИЧЕСКАГО КОМИТЕТА.

(СЪ 14-Ю ТАБЛИЦАМИ И 45-ТИ ФИГУРАМИ ВЪ ТѢКСТѢ.)



Nouvelle méthode pour l'étude goniométrique et optique des cristaux  
appliquée à la minéralogie et à la pétrographie.

PAR

**E. FEDOROFF.**

CONSERVATEUR DU COMITÉ GÉOLOGIQUE.

(AVEC 14 PLANCHES ET 45 FIGURES.)

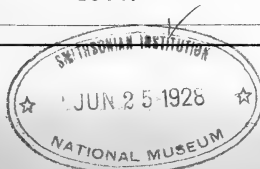


**Коммисіонеры Геологическаго Комитета:**

Librairie Eggers et Cie. Картографическій магазинъ А. Ильина. Pierrotet.  
à St.-Petersbourg. въ С.-Петербургѣ. Paris, 15, rue de Tournon.

Цена 3 руб. 60 коп.

1893.



# ИЗДАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАГО КОМИТЕТА.

## Труды Геологическаго Комитета:

- Томъ I**, № 1, 1883 г. **Г. Лагузень**. Фауна юрскихъ образованій Рязанской губерніи. (J. Lahusen. Die Fauna der jurassischen Bildungen des Rjasanschen Gouvernements.) Съ 11-ю таблицами ископаемыхъ и 1-ю картою. Ц. 3 р. 60 к.
- № 2, 1884 г. **С. Никитинъ**. Общая геологическая карта Россіи. Листъ 56-й. Ярославль. (S. Nikitin. Allgemeine geologische Karte von Russland. Blatt 56. Jaroslawl.) Съ отдѣльною геологическою картою и 3-мя таблицами ископаемыхъ. Ц. 3 р. (Одна геологическая карта 56-го листа безъ сочиненія — 75 к.).
- № 3, 1884 г. **Ф. Чернышевъ**. Матеріалы къ изученію девонскихъ отложеній Россіи. (Th. Tschernyschew. Materialien zur Kenntniss der devonischen Ablagerungen in Russland.) Съ 3-мя таблицами ископаемыхъ. Ц. 2 р.
- № 4 (и послѣдній), 1885. **И. Мухометовъ**. Геологическій очеркъ Липецкаго уѣзда въ связи съ минеральными источниками г. Липецка. (J. Mouchketoff. Aperçu géologique du district de Lipetz et des sources minérales de la ville de Lipetz.) Съ картою и планомъ. Ц. 1 р. 25 к.
- Томъ II**, № 1, 1885. г. **С. Никитинъ**. Общая геологическая карта Россіи. Листъ 71-й. Кострома. (S. Nikitin. Allgemeine geologische Karte von Russland. Blatt 71. Kostroma.) Съ отдѣльною картою и 8-ю таблицами ископаемыхъ. Ц. 4 р. 50 к. (Одна геологическая карта 71-го листа безъ сочиненія — 75 к.).
- № 2, 1885 г. **И. Спичковъ**. Общая геологическая карта Россіи. Листъ 93-й. Западная часть. Камышинъ. (J. Sintzov. Carte géologique générale de la Russie. Feuille 93. Partie occidentale. Kamyschin.) Съ отдѣльною картою. Ц. 2 р. (Одна геологическая карта западной части 93-го листа безъ сочиненія — 50 к.).
- № 3, 1886 г. **А. Павловъ**. Аммониты зоны *Aspidoceras acanthicum* восточной Россіи. (A. Pavlow. Les Ammonites de la zone à *Aspidoceras acanthicum* de l'Est de la Russie.) Съ 10-ю таблицами. Ц. 3 р. 50 к.
- № 4, 1887 г. **И. Шмальгаузенъ**. Описаніе остатковъ растений артинскихъ и пермскихъ отложеній. (J. Schmalhausen. Die Pflanzenreste der artinskischen und permischen Ablagerungen im Osten des Europäischen Russlands.) Съ 7-ю табл. Ц. 1 р.
- № 5 (и послѣдній), 1887 г. **А. Павловъ**. Самарская лука и Жегули. Геологическое изслѣдованіе. (A. Pavlow. La presqu'île de Samara et les Gegoulis. Etude géologique.) Съ картою и 2-мя таблицами. Ц. 1 р. 25 к.
- Томъ III**, № 1, 1885 г. **Ф. Чернышевъ**. Фауна нижняго девона западнаго склона Урала. (Th. Tschernyschew. Die Fauna des unteren Devon am West-Abhange des Urals.) Съ 9-ю таблицами ископаемыхъ. Ц. 3 р. 50 к.
- № 2, 1886 г. **А. Карпинскій, Ф. Чернышевъ и Ал. Тилло**. Общая геологическая карта Европейской Россіи. Листъ 139-й. (A. Karpinsky, Th. Tschernycheff et A. de Tillo. Carte géologique générale de la Russie d'Europe. Feuille 139.) Цѣна (съ геолог. картою) 3 р. (Одна геолог. карта безъ сочиненія — 1 р.).
- № 3, 1887 г. **Ф. Чернышевъ**. Фауна средняго и верхняго девона западнаго склона Урала. (Th. Tschernyschew. Die Fauna des mittleren und oberen Devon am West-Abhange des Urals.) Съ 14-ю таблицами ископаемыхъ. Ц. 6 р.
- № 4, 1889 г. **Ф. Чернышевъ**. Общая геологическая карта Россіи. Листъ 139-й. Описаніе центральной части Урала и западнаго его склона. (Th. Tschernyschew. Allgemeine geologische Karte von Russland. Blatt 139. Beschreibung des Central-Urals und des Westabhanges.) Съ 7-ю таблицами. Ц. 7 р.



ТРУДЫ ГЕОЛОГИЧЕСКАГО КОМИТЕТА. | MÉMOIRES DU COMITÉ GÉOLOGIQUE.  
Томъ X, № 2. | Volume X, № 2.

# ТЕОДОЛИТНЫЙ МЕТОДЪ ВЪ МИНЕРАЛОГІИ И ПЕТРОГРАФІИ

**Е. С. ФЕДОРОВА**

КОНСЕРВАТОРА ГЕОЛОГИЧЕСКАГО КОМИТЕТА.

(СЪ 14-Ю ТАБЛИЦАМИ И 45-ТИ ФИГУРАМИ ВЪ ТЕКСТѢ.)



Nouvelle méthode pour l'étude goniométrique et optique des cristaux  
appliquée à la minéralogie et à la pétrographie.

PAR

**E. FEDOROFF.**

CONSERVATEUR DU COMITÉ GÉOLOGIQUE.

(AVEC 14 PLANCHES ET 45 FIGURES.)



**Коммисіонеры Геологическаго Комитета:**

Librairie Eggers et Cie  
à St.-Petersbourg.

Картографическій магазинъ А. Ильяна  
въ С.-Петербургѣ.

Pierrotet.  
Paris, 15, rue de Tournon.

Цѣна 3 руб. 60 коп.

1893.



---

Напечатано по распоряженію Геологическаго Комитета.

---

---

Типографія А. Якобсона (Вас. остр., 7-я лин. № 4).

---

# СОДЕРЖАНІЕ.

## Часть первая. Кристаллогеометрическія изслѣдованія.

	стр.		стр.
Предисловіе . . . . .	V	§ 18. Случай гексагональной системы . . . . .	53
<b>I. О кристаллографической номенклатурѣ.</b>		§ 19. Преобразование плоскости проекціи . . . . .	54
§ 1. О необходимости новой номенклатуры . . . . .	1	<b>IV. Кристаллографическія вычисленія.</b>	
§ 2. Главныя требованія, къ ней представляемая . . . . .	3	§ 20. Основныя понятія новой системы вычисленій . . . . .	57
§ 3. Номенклатура простыхъ фигуръ . . . . .	4	§ 21. Новая формула для зональныхъ вычисленій . . . . .	60
§ 4. „ видовъ симметріи . . . . .	7	§ 22. Примѣненіе ее на примѣрѣ . . . . .	62
§ 5. Кристаллографическіе символы . . . . .	8	§ 23. Соотношеніе между символами и координатами . . . . .	63
§ 6. Номенклатура видовъ структуры . . . . .	12	§ 24. Вычисленіе элементовъ кристалла при различной его ориентировкѣ . . . . .	—
Таблица видовъ симметріи и простыхъ фигуръ . . . . .	16	§ 25. Приведеніе частнаго примѣра . . . . .	65
<b>II. Основанія новаго метода кристаллогеометрическихъ изслѣдованій.</b>		§ 26. Случай особой ориентировки кристалла . . . . .	66
§ 7. Характеристика новаго метода . . . . .	25	§ 27. Вычисленія въ случаѣ гексагональной системы . . . . .	68
§ 8. Описаніе универсальнаго гониометра . . . . .	28	§ 28. Вычисленіе геометрическихъ константъ изъ данныхъ наблюденія . . . . .	69
§ 9. Производство наблюденій и ихъ записываніе . . . . .	29	§ 29. Тоже въ случаѣ гексагональной системы . . . . .	75
§ 10. Юстировка по косымъ поясамъ . . . . .	32	§ 30. Заключеніе о теодолитномъ методѣ . . . . .	—
§ 11. Употребленіе вѣшняго сигнала . . . . .	33	<b>V. Примѣры измѣренія.</b>	
§ 12. Повѣрка универсальнаго гониометра . . . . .	36	1. Борацитъ (изъ Страссфурта) . . . . .	77
<b>III. Основанія графическихъ рѣшеній.</b>		2. Шпинель (съ Везувія) . . . . .	80
§ 13. Круговая линейка для пологихъ дугъ . . . . .	41	3. Бериллъ (изъ Ильменскихъ горъ) . . . . .	82
§ 14. Условія точности при графическихъ рѣшеніяхъ . . . . .	46	4. Кварцъ (изъ Porto Seguro въ Корсику) . . . . .	84
§ 15. Изображеніе реберъ и граней съ данными символами . . . . .	48	5. Цирконъ (изъ Ильменскихъ горъ) . . . . .	85
§ 16. Полярныя отношенія разныхъ проекцій . . . . .	49	6. Топазъ (изъ Ильменскихъ горъ) . . . . .	88
§ 17. Выполненіе графическаго изображенія . . . . .	50	7. Эпидотъ (изъ Зульцбахъ) . . . . .	90
		8. Эвклазъ (съ Урала) . . . . .	94
		9. Авортитъ (съ Везувія) . . . . .	96
		10. Аксинитъ (изъ Олонецкой губерніи) . . . . .	100

## Часть вторая. Кристаллооптическія изслѣдованія.

СТР.

СТР.

### I. Основанія новаго метода кристаллооптических изслѣдованій.

- § 1. Движенія препарата подь микроскопомъ . . . . . 109
- § 2. Значеніе вращеній препарата около горизонтальныхъ осей . . . . . 110
- § 3. Особія сѣченія оптическаго эллипсоида и ихъ опредѣленіе . . . . . 112
- § 4. Опредѣленіе кристаллографическихъ системъ въ зернахъ неправильнаго очертанія . . . . . 113

### II. Описаніе универсальнаго столика.

- § 5. Конструкція столика I-го типа . . . . . 115
- § 6. " " II-го типа . . . . . 117
- § 7. Особія преимущества обоихъ типовъ . . . . . 118
- § 8. Препараты новаго типа . . . . . 119
- § 9. Вывѣрка приборовъ . . . . . 120
- § 10. Особія примѣненія универсальнаго столика . . . . . 121

### III. Изслѣдованіе двойниковыхъ кристалловъ.

- § 11. Оптически-двойниковая ось и плоскость симметріи . . . . . 124
- § 12. Главное и другія замѣчательныя направленія двойниковаго кристалла . . . . . 126
- § 13. Перечисленіе наблюденій, произведенныхъ въ воздухѣ . . . . . 127

### IV. Оптическія опредѣленія плагионлазовъ.

- § 14. Упрощенный способъ опредѣленія оптическихъ константъ . . . . . 129
- § 15. Оптическіе константы ряда авортитъ-лабрадоръ . . . . . 132
- § 16. Оптическіе константы ряда альбитъ-андезитъ . . . . . 134

### V. Приложение метода изслѣдованія въ параллельномъ свѣтѣ къ опредѣленію полевыхъ шпатовъ въ микроскопическихъ препаратахъ.

- § 17. Сѣченія, перпендикулярныя къ оптической  $A_1$  . . . . . 137
- § 18. Сѣченія, перпендикулярныя къ оптической  $A_2$  . . . . . 139
- § 19. Сѣченія, перпендикулярныя къ кристаллографически-двойниковой оси . . . . . 140
- § 20. Сѣченія, перпендикулярныя къ главному направленію . . . . . 141
- § 21. Сѣченія симметричнаго пояса . . . . . 142
- § 22. Сѣченія перпендикулярныя къ оси  $n_m$  . . . . . 144
- § 23. Сѣченія, одновременнаго затемнѣнія обоихъ индивидовъ двойника . . . . . 145
- § 24. Сѣченія пояса [100] (удлиненнаго) . . . . . 146

RESUMÉ Partie I. Études goniométriques . . . . .	149
Partie II. " cristaloptiques . . . . .	180

## ПРЕДИСЛОВІЕ.

In jeder besonderen Naturlehre nur so viele eigentliche Wissenschaft angetroffen werden könne, als darin Mathematik anzutreffen sei.

Kant.

Въ первый разъ идея примѣненія метода, изложеннаго въ этомъ сочиненіи, была публично заявлена мною въ ноябрѣ 1889 г. на засѣданіи Императорскаго С.-Петербургскаго Минералогическаго Общества, которое постановило отпустить средства для осуществленія требующагося для изслѣдованій этого рода дорогого прибора — универсальнаго гониометра.

Конечно, если бы время мое было свободно для научныхъ занятій, я могъ бы въ гораздо болѣе скорый срокъ закончить предпріятыя изслѣдованія и оправдать тѣ тезисы, которые тогда же были мною опубликованы.

Судьбѣ было угодно, чтобы случилось иначе. Впродолженіе моей 14 лѣтней самостоятельной научной дѣятельности, между прочимъ и въ теченіи 4-хъ послѣднихъ лѣтъ, я долженъ былъ урывками удѣлять занятіямъ этого рода часы, свободные отъ другихъ занятій какъ геолога и какъ консерватора геологическаго Комитета и пр. Вотъ почему и теперь, больше чѣмъ чрезъ 3 года я выпускаю въ свѣтъ свое сочиненіе далеко не въ томъ законченномъ видѣ, какъ бы я этого желалъ: многое исполнено съ нѣкоторою поспѣшностью; кое-что другое остановилось на предварительныхъ испытаніяхъ, и все обработано на скоро, безъ той гармоніи въ частяхъ, какая дается продолжительнымъ обдумываніемъ всѣхъ частныхъ трудовъ.

Но тѣмъ не менѣе мои иностранные коллеги уже успѣли опередить меня въ опубликованіи своихъ, хотя-бы и предварительныхъ, результатовъ, а именно: въ *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* за 1892 г. В. 44, р. 546 помѣщена маленькая замѣтка проф. Гольдшмидта о конструированномъ имъ универсальномъ гониометрѣ и въ январскомъ № *Zeitschrift für Instrumentenkunde* д-ръ Чапекій помѣстилъ маленькую статью о томъ же предметѣ.

До сихъ поръ мнѣ остается неизвѣстнымъ, чтобы кто-нибудь помѣстилъ хотя бы замѣтку о приборахъ, основанныхъ на томъ же принципѣ, но предназначенныхъ для оптическихъ изслѣдованій кристалловъ, т. е. о различныхъ типахъ универсальнаго столика микроскопа.

Въ виду такого положенія дѣла я полагаю необходимымъ привести ходъ моихъ собственныхъ изслѣдованій.

Послѣ моего заявленія въ 1889 году объ универсальномъ гониометрѣ произошла нѣкоторая задержка въ техническомъ исполненіи этого прибора <sup>1)</sup>, но выработка подробнаго проэкта, а затѣмъ систематическое наблюденіе надъ его выполнениемъ отняли у меня не мало времени.

Въ маѣ 1891 года, когда приборъ былъ близокъ къ окончанію, я заявилъ о полезности универсальнаго столика и получилъ отъ Присутствія Геологическаго Комитета средства для его изготовленія. Оба прибора были готовы въ концѣ того же года; но пока я производилъ съ помощью послѣдняго изъ нихъ изслѣдованія надъ полевыми шпатами, первый подвергся нѣкоторымъ механическимъ улучшеніямъ, и только въ началѣ 1892 года я счелъ возможнымъ въ его окончательномъ видѣ демонстрировать многимъ изъ гг. членовъ Императорскаго Минералогическаго Общества (въ томъ числѣ А. П. Карпинскому, Н. Н. Векетову, И. В. Мушкетову, а равно Директору этого Общества П. В. Еремѣеву и Секретарю Ѳ. Н. Чернышеву).

Когда осенью того же года моя подлежащая работа была окончательно готова (большая часть клише изготовлялась г. Щепанскимъ еще лѣтомъ), я имѣлъ честь демонстрировать свои приборы въ одномъ изъ ноябрьскихъ засѣданій Физико-Математическаго Отдѣленія Императорской Академіи Наукъ и объяснить особыя преимущества новаго метода изслѣдованій.

Къ всему этому не могу не прибавить съ чувствомъ удовлетворенія о лояльномъ признаніи моего пріоритета со стороны гг. Чапскаго и профессора Грота въ Мюнхенѣ, которому я сообщилъ о своемъ методѣ еще въ началѣ 1892 г. и который выразилъ желаніе помѣстить въ издаваемомъ имъ журналѣ *Zeitschrift für Krystallographie* въ полномъ видѣ настоящей мой трудъ.

Кромѣ главнаго предмета изслѣдованія я присоединилъ сюда главу о кристаллографической номенклатурѣ, изложивъ этотъ предметъ съ тою степенью подробности, какая необходима для устраненія недоразумѣній при примѣненіи новой номенклатуры. Это я сдѣлалъ, исходя изъ убѣжденія, что при той степени развитія кристаллографіи, какую достигла эта наука въ настоящее время, нѣтъ

<sup>1)</sup> Г. механикомъ Петерманомъ.

возможности избѣжать употребленія новой номенклатуры, и чѣмъ скорѣе послѣдняя во всей своей послѣдовательности войдетъ во всеобщее употребленіе, тѣмъ лучше для развитія и распространенія самой науки. Я имѣю полную увѣренность въ томъ, что лица, освоившіяся съ современнымъ состояніемъ кристаллографіи, присоединяется къ моему почину устранить устарѣвшія формы и термины науки и въ своихъ трудахъ будутъ руководствоваться раціональными принципами.

Моя увѣренность въ значительной мѣрѣ успѣла оправдаться тѣмъ благосклоннымъ пріемомъ, какой оказанъ новой номенклатурѣ корифеями нашей науки, профессорами Гротомъ и Чермакомъ, почему будущность ея мнѣ представляется обезпеченною.

При этомъ я считаю особенно необходимымъ подчеркнуть, что введеніе новой номенклатуры не затрудняетъ и не усложняетъ изложеніе науки, какъ это по какому то странному недоразумѣнію полагаютъ нѣкоторые изъ нашихъ минералоговъ, но, напротивъ того, оно служитъ для облегченія и упрощенія; только вмѣстѣ съ новою номенклатурою устраняется произволь и путаница въ терминахъ; изложеніе же предмета въ полномъ видѣ (напр. въ Горномъ Институтѣ и въ университетахъ) въ другой формѣ рѣшительно невозможно.

Въ заключеніе упомяну объ одномъ сокращеніи въ общеупотребительныхъ терминахъ — „триклиноэдрической“ и „моноклиноэдрической“. Если необходимость такого сокращенія была бы не очевидна сама по себѣ, то въ этомъ долженъ бы былъ убѣдить опытъ нашихъ иностранныхъ коллегъ, давно изгнавшихъ изъ употребленія эти термины Науманна въ ихъ первоначальномъ видѣ и замѣнившихъ ихъ краткими терминами *triklin* и *monoklin*.

Чтобы гарантировать правильность сокращенія этихъ терминовъ я письменно обратился къ нашему авторитету по предмету русской грамматики, вице-президенту Императорской Академіи Наукъ Я. К. Гроту, прося выразить мнѣніе о томъ, какъ правильнѣе сказать: клиновѣй, клиннѣй или какъ-нибудь иначе.

Я обязанъ ему слѣдующимъ отвѣтомъ (отъ 22-го декабря 1892 г.).

„Въ рѣшеніи вопроса, съ которымъ Вы изволили ко мнѣ обратиться, встрѣчается то затрудненіе, что въ русскомъ языкѣ есть слово клинъ. . . . Такъ какъ отъ означеннаго русскаго слова можетъ быть образовано прилагательное клиновой, то для избѣжанія недоразумѣнія я полагалъ бы, что предполагаемому Вами сокращенному термину лучше дать форму: моноклиннѣй, триклиннѣй, которая притомъ имѣетъ то преимущество, что она на дѣлѣй словъ короче чѣмъ моноклиновѣй, триклиновѣй“.

Рѣшаясь предать опубликованію это, во всякомъ случаѣ слабѣйшее, изъ моихъ сочиненій, главнымъ образомъ сгруппировывающее результаты, уже заключающіеся въ нѣкоторыхъ прежнихъ моихъ работахъ, я не могу не заявить съ благодарностью о содѣйствіи, оказанномъ мнѣ при исполненіи его съ разныхъ сторонъ.

## VIII

Отъ Геологическаго Комитета я получилъ средства къ осуществленію разныхъ, частью описанныхъ здѣсь, приборовъ и пользовался многочисленными микроскопическими препаратами. Онѣ же оказали мнѣ незаслуженную мною честь, принявъ эту работу въ составъ своихъ „Трудовъ“.

Минералогическое Общество дало средства осуществить описанный здѣсь гониометръ, а его Директору, П. В. Еремѣеву, я обязанъ, сверхъ того, и нѣкоторыми оригиналами изслѣдованія.

Другая часть матеріала получена мною изъ Музея Горнаго Института, отъ К. Д. Хрущева и А. Н. Карножицкаго.

Наконецъ, А. Коллону я обязанъ въ высшей степени внимательнымъ прочтеніемъ и исправленіемъ французскаго резюме.

С.-Петербургъ,  
23-го апрѣля, 1893 г.

---



ТЕОДОЛИТНЫЙ МЕТОДЪ

ВЪ

МИНЕРАЛОГИИ И ПЕТРОГРАФИИ.

---

**ЧАСТЬ ПЕРВАЯ**

КРИСТАЛЛОГЕОМЕТРИЧЕСКІЯ ИЗСЛѢДОВАНІЯ.

---

NOUVELLE MÉTHODE POUR L'ÉTUDE GONIOMÉTRIQUE ET OPTIQUE DES  
CRISTAUX APPLIQUÉE À LA MINÉRALOGIE ET À LA PÉTROGRAPHIE.

---

**PARTIE I.**

ÉTUDES GONIOMETRIQUES.

---





## I. О КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ НОМЕНКЛАТУРѢ.

§ 1. Тѣ, кто слѣдилъ за успѣхами кристаллографіи за послѣднее время, хорошо знаютъ, что наука эта подверглась существенному преобразованію. Изъ науки эмпирической или полу-эмпирической она мало по малу приобретаетъ права гражданства въ одномъ изъ первыхъ рядовъ посреди точныхъ наукъ математическаго характера. Новая теоретическая кристаллографія, постепенно вытѣсняющая старую эмпирическую, по степени точности метода и незыблемости выводовъ можетъ быть поставлена въ уровень съ теоретической механикой, и, полагаю, оставляетъ математическую физику позади себя <sup>1)</sup>).

Однако, совершившійся въ этой области переворотъ столь недавняго происхожденія, что еще не смыты слѣды стараго эмпиризма во внѣшнихъ формахъ науки — въ ея терминологіи.

Наступаетъ время, когда это несоотвѣтствіе между новымъ содержаніемъ и старыми формами начинаетъ сознаваться выдающимися представителями науки, когда и старая терминологія должна уступить мѣсто новой, основанной на точныхъ принципахъ и образующей одну

---

<sup>1)</sup> Значеніе математики для кристаллографіи, конечно, хорошо понимали всѣ выдающіеся представители этой науки даже въ ея первоначальной стадіи развитія: и Гаюи, и Моосъ, и Науманъ и тѣмъ болѣе Вейсъ. Къ сожалѣнію, полная неразработанность самихъ началъ ученія о фигурахъ долго не давала возможности этому убѣжденію принести должные плоды. Вотъ почему первый важный шагъ (въ свое время не повятой и не оцѣненный) сдѣланъ именно тѣмъ ученымъ (я разумю Гесселя), который въ первый разъ „ученіе о фигурахъ“ (Gestaltenlehre) выставилъ въ заголовкѣ своего замѣчательнаго труда.

Въ виду того, что страшная отсталость нашего преподаванія вноситъ въ обиходъ весьма смутныя понятія и путаницу не только относительно значенія математики, но даже о самомъ предметѣ кристаллографіи, я позволю себѣ привести выписку изъ того самаго сочиненія Науманна (Lehrbuch der reinen und angewandten Krystallographie, 1829), которое является однимъ изъ источниковъ преподаванія у насъ, даже до послѣдняго времени: „Die Krystallographie, als Wissenschaft von der Gesetzmässigkeit der Krystalgestalten (oder als Morphologie der anorganischen Individuen) betrachtet an den Krystallen nichts als die Gestalten, und abstrahirt von allen übrigen Eigenschaften derselben. Weil nun diese Gestalten nach sehr bestimmten Regeln gebildete, von ebenen Flächen umschlossene Figuren sind, so ist begreiflich, dass die Krystallographie ihre Aufgabe nicht anders als mit Hilfe der Geometrie zu lösen vermag; ja, man könnte sie nicht mit Unrecht als denjenigen Theil der angewandten Geometrie definiren, welcher ausschliesslich die an den anorganischen Individuen verwirklichten stereometrischen Formen zum Gegenstande hat“ (ibid. S. 16).

гармонично связанную въ своихъ частяхъ систему, приведенную въ полное созвучіе съ основными понятіями науки. Словомъ, прежняя полуэмпирическая терминологія должна уступить мѣсто новой рациональной номенклатурѣ.

Такое преобразованіе во внѣшнихъ формахъ науки существенно не только для адептовъ этой самой науки т. е. кристаллографовъ и минералоговъ и даже не только для нихъ, сколько для лицъ, спеціальныя занятія которыхъ выходятъ изъ области этихъ наукъ, хотя и соприкасаются съ ними или даже имѣютъ въ нихъ свое основаніе, вообще для тѣхъ, кому приходится имѣть дѣло съ кристаллами и ихъ природными представителями — минералами; я имѣю въ виду петрографовъ, геологовъ, химиковъ. Для всѣхъ этихъ лицъ простота — неотъемлемое и существенное свойство рациональной номенклатуры — имѣетъ особенное значеніе. Разъ усвоенныя основанія рациональной номенклатуры остаются на всю жизнь, тогда какъ сложная съѣтъ терминовъ эмпирической науки требуетъ для поддержанія знакомства съ ними частыхъ повтореній.

Вотъ почему въ этомъ сочиненіи, предназначенномъ не для однихъ специалистовъ кристаллографіи и минералогіи, я считаю особенно важнымъ повторить основанія рациональной номенклатуры <sup>1)</sup>.

Однако, для того, чтобы и неспециалистамъ сдѣлать яснымъ необходимость этого, я позволю себѣ въ общихъ чертахъ охарактеризовать недостатки старой терминологіи, пользующейся до сихъ поръ преимущественнымъ употребленіемъ, введенной главнымъ образомъ нѣмецкимъ минералогомъ Науманномъ <sup>2)</sup>.

Каждый видъ симметріи и каждая простая фигура должны имѣть свои опредѣленные названія. Но вѣдь многіе изъ видовъ симметріи были Науманну неизвѣстны; да и самый принципъ этого вывода, тѣ строгія основанія, которыми каждый изъ нихъ опредѣляется, также не были извѣстны этому ученому; вотъ почему на ряду съ пропускомъ нѣкоторыхъ изъ этихъ видовъ этотъ ученый ошибочно принималъ существованіе такихъ, которыхъ новая теоретическая кристаллографія не допускаетъ.

Чѣмъ этотъ ученый руководствовался при употребленіи названій самихъ видовъ симметріи? вообще — названіями общихъ фигуръ, характеризующихъ данный видъ симметріи, напр. пирамидальная гемѣдрія, трапецеэдрическая или ромбоэдрическая тетартэдрія, гироэдрическая гемѣдрія. Но наряду съ этимъ мы встрѣчаемъ сфеноидальную гемѣдрію (тетрагональную с) параллельно-гранную гемѣдрію (кубооктаэдрической с).

<sup>1)</sup> Новая номенклатура съ возможною послѣдовательностью проводилась во всѣхъ моихъ сочиненіяхъ; наиболѣе систематично она изложена въ моемъ „Краткомъ руководствѣ по кристаллографіи“.

<sup>2)</sup> Едва ли нужно говорить о томъ, какой крупный шагъ составила въ свое время терминологія, введенная этимъ ученымъ. Чтобы наглядно оцѣнить это значеніе стоитъ лишь сравнить терминологію въ „Lehrbuch der reinen und angewandten Krystallographie“ 1829 и 1830 г.г. и напр. „Die ersten Begriffe der Mineralogie“. Mohs'a, вышедшія въ 1842 году.

Также и въ названіи фигуръ онъ не выдержалъ съ полною послѣдовательною принципа обозначенія одинаковыхъ фигуръ одинаковыми названіями. Не говоря уже о томъ, что фигуры, построенныя по одному и тому же закону, получаютъ отъ него различныя придаточныя названія напр. макро-дома, брахи-дома и т. п., но очень часто къ такимъ фигурамъ имъ примѣнялись даже совершенно различныя названія; напр. только-что названныя фигуры ничѣмъ существенно не отличаются отъ ромбической призмы или отъ геминирамиды моноклинной системы.

Число такихъ примѣровъ, конечно, можетъ быть увеличено; но, полагаю, что приведенныхъ достаточно, чтобы сдѣлать понятнымъ, что употребленіе излишнихъ терминовъ съ одной стороны создаетъ затрудненія при первомъ ознакомленіи съ ними учащихъ, а съ другой стороны оно навсегда налагаетъ бесполезное обремененіе и на лицъ, которымъ рѣдко приходится пользоваться этими терминами, т. е. неспециалистамъ по кристаллографіи.

Для специалистовъ, правда, является вѣчто противоположное; лицу, которое можетъ быть втеченіи цѣлыхъ десятковъ лѣтъ сжилосъ съ извѣстнымъ терминомъ, всегда употребляя его въ опредѣленномъ смыслѣ, лицу, у котораго произнесеніе этого термина немедленно вызываетъ въ представленіи вѣчто совершенно опредѣленное, хотя бы и мало согласованное съ самымъ терминомъ, труднѣе освоится съ новымъ, хотя бы и болѣе простымъ, такъ какъ уже одна давнишняя привычка невольно заставляетъ вспоминать о старомъ.

Однако, совершенно ясно, что научная номенклатура имѣетъ свои собственыя основанія, стоящая вѣдъ понятія о привычности употребленія терминовъ.

Но при всемъ этомъ на практикѣ нельзя игнорировать и привычки; для того, чтобы новая номенклатура вошла въ жизнь, она въ большей или меньшей степени должна считаться съ усвоенною привычкою. Новая номенклатура можетъ получить жизнь только постепенно, и первые шаги ея должны быть связавы главнымъ образомъ съ устраненіемъ только наиболѣе очевидныхъ недостатковъ старой и введеніемъ наиболѣе очевидныхъ упрощеній.

§ 2. Очертивъ, такимъ образомъ, недостатки старой терминологіи, я позволю себѣ резюмировать цѣли, которыя я преслѣдую, предлагая новую номенклатуру:

1) связать термины въ одну систему, положивъ въ основаніе наименьшее число ясно выраженныхъ принциповъ, находящихся въ полномъ соотвѣтствіи съ основными понятіями нашей науки,

2) имѣть при этомъ въ виду возможно меньшее измѣненіе существующихъ терминовъ; по возможности устраняя излишніе, не вводить новыхъ, насколько это допустимо по сущности дѣла, и

3) на первомъ планѣ должно стоять устраненіе наиболѣе очевидныхъ недостатковъ и пополненіе наиболѣе очевидныхъ пробѣловъ. Достигая наибольшей простоты, можно пренебрегать несовершенною правильностью терминовъ въ грамматическомъ отношеніи или ихъ неблагозвучіемъ, если для устраненія этого нужно измѣнять слова, давно вошедшія во всеобщее употребленіе.

Переходя теперь къ примѣненію этихъ принциповъ, начну съ номенклатуры фигуръ, затѣмъ перейду къ номенклатурѣ видовъ симметріи, къ символамъ и наконецъ — къ видамъ структуры кристалловъ.

### Номенклатура фигуръ.

§ 3. Пытаясь придти къ рациональной номенклатурѣ простыхъ фигуръ, я буду имѣть въ основаніи принципа, на которыхъ вообще опираются всякія рациональныя номенклатуры <sup>1)</sup>, а именно:

1) фигуры различныя (т. е. составленныя по различнымъ законамъ), должны имѣть различныя названія, а фигуры одинаковыя — одинаковыя названія.

2) фигуры, составляющія одинъ естественный рядъ, обусловленный однимъ и тѣмъ же закономъ, должны имѣть существенно одно и тоже названіе съ прибавленіемъ порядковаго числа, указывающаго мѣсто фигуры въ ряду (иногда безконечномъ).

Для того, чтобы выразить различіе положенія одинаковыхъ фигуръ можно прибавить къ названію фигуры опредѣлительное слово, которое бы возможно короче характеризовало это положеніе <sup>2)</sup>.

Чтобы еще ближе подойти къ предмету, мы точнѣе охарактеризуемъ, что мы подразумеваемъ подъ именемъ простой фигуры, и какъ нужно понимать выраженіе «законъ ея составленія».

Ради наглядности вообразимъ идеальный случай, когда разъ образовавшійся зародышевый кристаллъ находитъ въ окружающей средѣ со всѣхъ сторонъ одинаково благопріятныя условія для своего роста, и потому всѣ одинаковыя грани (одинаковость эта обусловливается внутренней симметрией кристалла) въ каждый моментъ роста одинаково отстоятъ отъ начальной точки роста.

Многогранники, коихъ грани одинаково отстоятъ отъ одной и той же точки, называются типическими; тѣ изъ нихъ, у которыхъ равныя (или симметричныя) грани, называются изоэдрами.

<sup>1)</sup> Дж. Ст. Милль. Система логики, книга IV. Глава 6.

<sup>2)</sup> Naumann (Lehrb. d. rein. u. ang. Kryst. § 54) требуетъ отъ названій слѣдующихъ условій: 1) Bezeichnend, 2) Möglichst kurz, 3) Methodisch, 4) Sprachrichtig, 5) Einstimmig mit dem Sprachgebrauche verwandter Wissenschaften.

Условія, выставленныя выше, очевидно, подразумеваются имъ сами собою. Однако, ихъ выполненіе приводитъ къ выполненію и почти всѣхъ выставленныхъ имъ условій. Взятая же въ отдѣльности, послѣдняя могутъ противорѣчить другъ другу.

Такимъ образомъ, простую фигуру кристаллографіи мы можемъ также обозначить какъ типическій изоэдръ. Если бы затѣмъ въ ростѣ произошли и неправильности, и однѣ грани оказались бы ближе къ центру чѣмъ другія, лишь бы не появлялось новыхъ граней, всетаки фигура остается для кристаллографа простою, такъ какъ для него не играетъ роли абсолютное разстояніе отдѣльныхъ плоскостей.

Вообще, со времени Вейса понятіе простой фигуры хорошо усвоено всеми кристаллографами, хотя въ такихъ терминахъ, какъ «гексаэдръ», «октаэдръ» съ одной стороны, «гемипирамиды» и «тетартопирамиды» съ другой, и кроется тенденція къ неправильному примѣненію этого понятія. Очень рѣдки такіе ошибочные взгляды, какъ напр. взглядъ объ одинаковости куба и комбинаціи трехъ пинакоидовъ ромбической системы; у обладателей этихъ взглядовъ гониометрическая точка зрѣнія заслоняетъ ту настоящую точку зрѣнія, съ которой вообще разсматривается простая фигура, а именно законъ симметріи, съ которымъ существенно связано это понятіе.

Однако, то, что должно служить основаніемъ для отдѣльнаго обозначенія простыхъ фигуръ, то, что ее отличаетъ отъ всѣхъ другихъ фигуръ, не есть законъ симметріи, а морфологическій законъ составленія граней (причемъ фигура приводится предварительно къ ея типической разновидности), т. е. число, форма и взаимное расположеніе ея равныхъ и симметричныхъ граней. Съ этой точки зрѣнія призма ромбической системы одинакова съ такъ называемой гемипирамидой моноклиной системы, хотя законы симметріи въ обоихъ случаяхъ существенно различны.

Вотъ на основаніи всего этого и составлена нижеслѣдующая таблица тѣхъ изъ терминовъ простыхъ фигуръ, которые нуждаются въ болѣе строгомъ опредѣленіи:

1) Гемипинакоидъ есть фигура, состоящая изъ одной единственной грани (примѣръ: гемиморфія гексагональной и другихъ системъ, также геміэдрія триклинной сист.).

2) Пинакоидъ представляетъ совокупность двухъ параллельныхъ граней (сюда относятся напр. фигуры голоэдрія триклинной сист. и пр.).

3) Гемипризма представляетъ совокупность двухъ граней, пересекающихся подъ угломъ (примѣръ: фигуры, относящіяся къ геміэдріи и гемиморфіи моноклиной сист.).

4) Призмы тригональная, тетрагональная и пр., суть фигуры, грани которыхъ образуютъ поясъ, и притомъ нормальное сѣченіе этого пояса есть правильный многоугольникъ.

5) Призмы дигональная (= ромбическая), дитригональная, дитетрагональная и пр. отличается отъ предыдущихъ тѣмъ, что нормальное сѣченіе ихъ есть дигонъ <sup>1)</sup>.

---

<sup>1)</sup> Дигонъ получается изъ правильного многоугольника, если къ вѣшнему периметру послѣдняго къ каждой сторонѣ приложить одинаковый равнобедренный треугольникъ, основаніе котораго совпадаетъ со стороною многоугольника.

6) Пирамида тригональная, тетрагональная и пр. есть фигура, ограниченная одинаковыми и одинаково наклоненными другъ къ другу гранями, пересекающимися въ одной точкѣ. Такая фигура имѣетъ ось, и сѣченіе нормальное къ оси есть правильный многоугольникъ.

7) Пирамиды дидигональная (= ромбическая), дитригональная, дитетрагональная и пр. отличаются отъ предыдущихъ тѣмъ, что сѣченіе, нормальное къ оси, есть дигонь.

8) Бипирамиды тригональная, тетрагональная и пр. состояются изъ двухъ одноименныхъ пирамидъ, имѣющихъ общую ось и общее основаніе, но обращенныхъ своими вершинами въ противоположныя стороны.

9) Бипирамиды дидигональная, дитригональная и пр. также относятся къ одноименнымъ пирамидамъ какъ бипирамиды 8) относятся къ пирамидамъ 6).

Наконецъ 10) сфеноэдрами <sup>1)</sup> называются фигуры, ограниченныя четырьмя равными трехугольниками.

Переходя къ терминамъ, служащимъ для различенія фигуръ по положенію, мы имѣемъ двоякаго рода случаи:

а) такіе, когда отличаются фигуры одного ряда. Для такихъ случаевъ мы имѣемъ такіе термины: бипирамида перваго, втораго и третьяго рода, также призмы, ромбоэдры трехъ родовъ,

б) такіе, когда отличаются фигуры весьма различнаго положенія. Въ такомъ случаѣ различіе это находить свое точное выраженіе въ символѣ фигуры, и на видѣ символа мы можемъ основать это различіе. Въ видѣ примѣра приведу случай голоэдрія триклинной системы.

Простыя фигуры этого вида симметріи всѣ морфологически одинаковы и представляютъ пинакоиды, но по положенію мы можемъ отличать:

(100)	—	первый пинакоидъ
(010)	—	второй       »
(001)	—	третій       »
(0 m 1)	—	пинакоиды 1-го рода
(n 0 1)	—	»       2-го   »
(n m 0)	—	»       3-го   »
(n m 1)	—	»       4-го   »

Впрочемъ, для устраненія всякихъ недоразумѣній новыя названія приведены въ таблицѣ, помѣщенной въ концѣ главы.

<sup>1)</sup> Въ отличіе отъ „сфеноэдровъ“ т. е. фигуръ (аналогично употребляемыхъ нѣкоторыми авторами „гексаэда“, „октаэда“ и пр.) съ разными гранями.



## Номенклатура видовъ симметріи.

§ 4. Какъ уже было упомянуто, въ этомъ отношеніи почти всеѣмъ признанъ принципъ обозначенія этихъ видовъ по общимъ простымъ фигурамъ, характеризующимъ каждый данный видъ симметріи.

Этотъ принципъ тѣмъ рациональнѣе, что съ каждымъ видомъ симметріи вообще неразрывно и однозначно связана общая простая фигура <sup>1)</sup>.

Такъ какъ многія фигуры имѣютъ одинаковыя названія для цѣлага ряда видовъ симметріи, то кромѣ опредѣлительнаго слова, производимаго отъ названія фигуры, необходимо еще другое порядковое названіе, характеризующее мѣсто этого вида симметріи въ ряду другихъ.

Однако, изученіе видовъ симметріи внушаетъ идею о сокращеніи названій, сводя ихъ во многихъ случаяхъ къ одному.

Чтобы яснѣе представить это, я позволю себѣ вкратцѣ сказать о всеѣхъ возможныхъ видахъ симметріи и ихъ группировкахъ въ системы на строго геометрическихъ основаніяхъ.

Въ ученіи о симметріи <sup>2)</sup> доказывается, что кромѣ двухъ правильныхъ системъ, кубооктаэдрической и додекаэдрооктаэдрической, существуетъ безконечный рядъ другихъ: въ этомъ ряду послѣдовательно чередуются системы нечетныя съ 5-ю и четныя съ 7-ю подраздѣленіями. Каждая система характеризуется входящею въ ея составъ осью симметріи или осью сложной симметріи <sup>3)</sup>.

Семь видовъ симметріи какой-нибудь системы, въ свою очередь, подраздѣляются на 2 группы, голоморфную и гемиморфную. Въ каждой группѣ имѣется одинъ видъ симметріи, волюи опредѣленный плоскостями симметріи: въ немъ все грани фигуры распадаются на симметричныя пары. Для такихъ подраздѣленій можно было бы ввести опредѣлительное слово «диагональныя», или, еще лучше, вовсе выпустить, и тогда сразу будетъ ясно, что тотъ изъ видовъ симметріи, въ которомъ опредѣлительное слово отсутствуетъ, волюи характеризуется плоскостями симметріи <sup>4)</sup>.

Такимъ образомъ, съ строго геометрической точки зрѣнія мы получаемъ слѣдующія подраздѣленія какой-нибудь четной системы:

<sup>1)</sup> Исключеніе составляютъ только гемидрїи и гемиморфіи моноклинной системы; общимъ видамъ симметріи принадлежатъ одинаковыя общія фигуры — гемипризмы. Однако, для этой системы, какъ и другихъ подраздѣленій диагональной системы, общій принципъ никогда не примѣнялся.

<sup>2)</sup> Начала уч. о фигурахъ § 52. Также симметрія конечныхъ фигуръ § 10.

<sup>3)</sup> Т. е. въ моногональной системѣ такія характеристичныя оси отсутствуютъ, въ диагональной онѣ двойныя, въ тригональной — тройныя и т. д.

<sup>4)</sup> Фигуры, сюда относящіяся, и только одинъ онѣ, могутъ быть демонстрированы гомоэдрическими зеркалами.

Система  $2p$  — гоная

Группа голоморфная	Группа гемиморфная
1. Голоэдрія	6. Голоэдрія
2. Скаленоэдрическая геміэдрія	7. Пирамидальная геміэдрія
3. Трапецоэдрическая »	
4. Биширамидальная »	
5. Дельтоэдрическая »	

Въ состав системъ нечетныхъ входятъ тѣже подраздѣленія кромѣ 2-го и 5-го т. е. всего 5 видовъ симметріи.

Однако, такая строго послѣдовательная номенклатура имѣетъ серьезныя неудобства, требуя для обозначенія вида симметріи 4 слова, а именно названій системы, группы и подраздѣленія последней.

Кромѣ того, съ практической точки зрѣнія удобно каждую нечетную систему совокупно съ четной системой вдвое высшаго наименованія разсматривать какъ одну. Это соображеніе въ особенности основывается на томъ, что въ двухъ простѣйшихъ системахъ (моногональной и дигональной) четыре вида симметріи одинаково принадлежатъ обѣимъ <sup>1)</sup> а потому, соединивъ обѣ въ одну — дигональную — мы получимъ 8 (вмѣсто 12) строго охарактеризованныхъ видовъ симметріи.

При этомъ условіи всѣ системы составятъ одинъ безконечный рядъ: дигональная, тетрагональная, гексагональная... въ которомъ будутъ чередоваться члены, заключающіе въ себѣ 12 и члены, заключающіе въ себѣ 7 видовъ симметріи, а именно 12 видовъ симметріи будутъ имѣть системы, наименованіе которыхъ не дѣлится на 4 (кромѣ дигональной, заключающей въ себѣ 8 видовъ симметріи), а 7 тѣ, наименованіе которыхъ дѣлится на 4 (тетрагональная и пр.).

### Кристаллографическіе символы.

§ 5. То обстоятельство, что символы Miller'a <sup>2)</sup> мало по малу вытѣсняють всѣ остальные, ясно указываетъ ихъ преимущество. Вытѣсненіе это необходимо должно идти рука объ руку съ распространеніемъ новой аналитической кристаллографіи. Формулы последней почти всегда подразумеваютъ употребленіе именно этихъ символовъ, и сами символы проще всего получаютъ при аналитическихъ изслѣдованіяхъ.

<sup>1)</sup> а именно:

скаленоэдрическая геміэдрія дигональной сист. = биширамидальной геміэдрія той же сист.; гемиморфія дигональной сист. = голоэдрія моногональной сист. Пирамидальная тетаргоэдрія дигональной сист. = трапецоэдрической геміэдрія моногональной сист. Биширамидальная геміэдрія моногональной сист. = гемиморфіи той же системы. Эту особенность дигональной системы отчетливо сознавалъ еще Hessel въ 1829 г. Gehler's Physicalisches Wörterbuch Bd. 5, S. 1280—1283.

<sup>2)</sup> Какъ извѣстно, символы эти было бы правильнѣе называть символами Grassmann'a или Frankenheim'a; но это было бы противъ всеобщаго и давно установившагося употребленія.

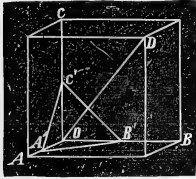
Но мы можем утверждать, что эти символы единственно рациональные, и что все остальные при правильной постановке дела должны быть оставлены.

Основанием для такого утверждения служить закон дуализма, по которому всякое построение, производимое с гранями, может быть аналогично воспроизведено с ребрами.

Поэтому, если при посредстве известного построения мы получаем символ грани, то при правильной постановке дела аналогичным образом получим и символ ребра.

Это, действительно, мы и имеем для символов Miller'a, но и только для них. Все же, конечно, известны следующие построения ребра и грани по их символам.

Если основные параметры на кристаллографических осях  $c_0, c_1, c_2$ , то для отыскания ребра, имеющего символ  $[r_0, r_1, r_2]$  мы на тех же осях откладываем отрезки  $OA = c_0 r_0$ ,  $OB = c_1 r_1$  и  $OC = c_2 r_2$  и по этим отрезкам строим параллелепипид. Диагональ этого параллелепипеда  $OD$  и есть искомое ребро (фиг. 1).



Фиг. 1.

Для нахождения плоскости  $(p_0, p_1, p_2)$  мы на тех же осях откладываем отрезки  $OA' = c_0/p_0$ ,  $OB' = c_1/p_1$ ,  $OC' = c_2/p_2$ , и плоскость  $A'B'C'$ , проходящая через концы этих отрезков, и есть искомая.

Во большинстве случаев ребро и грань, имеющие одинаковый символ, близки к перпендикулярности друг к другу, а во многих случаях это имеет место с точностью, а именно для всех изотропных поясов<sup>1)</sup>, а равно для осей и плоскостей симметрии.

Все же известна также простая связь, существующая между символами двух граней и ребра их пересечения или между символами двух ребер и проходящей через них грани.

Все это и многое другое<sup>2)</sup> относится к символам Miller'a и только к ним одним.

Чтобы на простом и наглядном примере показать незамысловатые преимущества этих символов, я позволю себе обратить внимание на формулировку законов роста кристаллов, выведенных мною из теории структуры и подтвержденных прямыми наблюдениями.

Закон этот выражается так:

Направления роста кристаллов принадлежат тем же символам, что плоскостям параллелоэдров, характеризующих структуру кристалла.

Формулировка эта одинаково применима для всех кристаллографических систем, и притом употребить какую-нибудь другую формулировку, не нарушая точности в выражении закона, о котором идет речь, нельзя.

<sup>1)</sup> Под именем „изотропного пояса“ подразумеваю такой, в котором имеется две пары взаимноперпендикулярных граней. Для таких поясов доказывается, что все грани попарно взаимно перпендикулярны. Геометрически изотропные пояса изотропны также в физическом отношении. (Две кристаллографические заметки Зап. Имп. Мин. Общ. ч. 25, стр. 53).

<sup>2)</sup> См. напр. Liebisch Geometr. Krystallogr. S. 41.

Я привелъ только одинъ изъ наиболѣе наглядныхъ примѣровъ, но конечно, можно было бы привести и другіе.

Единственное неудобство примѣненія символовъ Miller'a относится къ тѣмъ видамъ симметріи гексагональной системы, въ составъ которыхъ входитъ шестерная ось симметріи. Оно состоитъ въ томъ, что символы граней одной и той же простой фигуры выражаются двоякаго рода числами; если однѣ грани выражаются символомъ  $(p_0, p_1, p_2)$ , то другія требуютъ символа  $(-p_0, +2p_1, +2p_2, 2p_0 - p_1 + 2p_2, 2p_0 + 2p_1, -p_2)$ .

Я старался устранить это неудобство, введя предъ символами знаки  $+$  и  $-$ , такъ что если  $+(p_0, p_1, p_2)$  есть одинъ изъ только-что приведенныхъ символовъ, то другой будетъ теперь  $-(p_0, p_1, p_2)$ ; символъ же  $\pm(p_0, p_1, p_2)$  относится уже ко всѣмъ гранямъ простой фигуры.

Всѣобщее распространеніе символовъ Miller'a останавливается еще благодаря тому, что минералогіи при своихъ описаніяхъ не пользуются постояннымъ употребленіемъ символовъ реберъ; повидимому, они не могутъ освоиться съ ихъ употребленіемъ; иначе трудно понять неупотребленіе столь простаго и нагляднаго орудія, имѣющаго еще и свои незамѣнимыя преимущества, когда дѣло идетъ о расчетахъ и вычисленіяхъ. Опредѣленіе ребра по названіямъ или символамъ какихъ-нибудь двухъ граней, принадлежащихъ поясу этого ребра, есть лишь простое указаніе, а не точное математическое опредѣленіе его положенія въ пространствѣ.

До сихъ поръ рѣчь шла о символахъ отдѣльныхъ граней. Теперь нужно сказать о символахъ полныхъ простыхъ фигуръ, т. е. симметрическихъ совокупностей граней.

Потребуется въ такихъ символахъ ощущалась давно, и всѣ кристаллографы, по крайней мѣрѣ для нѣкоторыхъ видовъ симметріи пользуются такого рода символами. Напр. симметрическую совокупность граней притупленнаго пентагональнаго додекаэдра (диплоэдра) принято по Miller'у обозначать символомъ  $\pi(p_0, p_1, p_2)$ , или совокупность граней гексакисъ-тетраэдра символомъ  $\tau(p_0, p_1, p_2)$ , а по Naumann'у символъ пишется въ видѣ дроби, въ которомъ знаменатель 2 указываетъ на геміэдрію и пр.

Однако, про всѣ такіе символы приходится сказать, что 1) они не приведены въ систему, а потому рядомъ съ такими обозначеніями, для которыхъ предложены условные знаки, для большинства другихъ мы не имѣемъ никакихъ означеній, а 2) едвали такіе символы вообще могутъ удовлетворять своему наиболѣе существенному назначенію; они непосредственно не указываютъ на законъ, по которому составляются совокупности символовъ отдѣльныхъ граней, а, представляя простое напоминаніе о видѣ симметріи, заставляютъ всякій разъ возвращаться къ общей теоріи.

Въ рациональныхъ символахъ этого рода долженъ быть условнымъ знакомъ выраженъ законъ измѣненія символа при переходѣ отъ одной грани простой фигуры къ другой ея грани. Измѣненія же эти, вообще, состоятъ лишь въ перемѣнѣ знака индекса символа или въ перестановкѣ символовъ, а потому составленіе такихъ символовъ представляетъ чисто математиче-

скую задачу теории замѣщений и перестановокъ. Для указанія необходимыхъ замѣщений и перестановокъ въ символѣ можно пользоваться возможностью измѣнить шрифтъ, измѣнять скобки, наконецъ вводить значки.

Прежде всего я выдѣлилъ минимальное число возможныхъ замѣщений для каждой системы отдѣльно, и принявъ для обозначенія приставлять цифры къ скобкамъ, а именно: такъ какъ для диагональной системы минимальное число такихъ замѣщений есть 1, то для нее сохраняются скобки безъ цифры.

Для тетрагональной с. такихъ направлений 2:  $(p_0 p_1 p_2)$  и  $(\bar{p}_0 \bar{p}_1 \bar{p}_2)$ , и я выражаю это символомъ  $(p_0 p_1 p_2)_2$ ; для гексагональной с. такихъ направлений 3, и для нея введенъ символъ  $(p_0 p_1 p_2)_3$ ; для кубооктаэдрической с. такихъ направлений 12 (соответственно тетратоэдрич.), и для нея—символъ  $(p_0 p_1 p_2)_4$ , причемъ цифра 4 напоминаетъ о всегдашнемъ существованіи 4 октаэдрическихъ (тройныхъ) осей симметріи, расположенныхъ параллельно диагоналямъ куба.

Кромѣ того, въ переѣмѣ символовъ мною различаются еще слѣдующія группы:

1) одновременная переѣма знака всѣхъ индексовъ символа. Это замѣщеніе выражено прямыми скобками. Напр.  $[p_0 p_1 p_2]$  выражаетъ двѣ грани  $(p_0 p_1 p_2)$  и  $(\bar{p}_0 \bar{p}_1 \bar{p}_2)$ .

Замѣщеніе это выражаетъ присутствіе совкупности двойной оси и плоскости сложной симметріи;

2) независимое измѣненіе знака одного изъ индексовъ символа. Это замѣщеніе я выражаю жирными цифрами. Напр.  $(p_0 p_1 \mathbf{p}_2)$  означаетъ двѣ грани  $(p_0 p_1 p_2)$  и  $(p_0 p_1 \bar{p}_2)$ .

Взятое въ отдѣльности, измѣненіе это выражаетъ плоскость симметріи, перпендикулярную къ той кристаллографической оси, къ которой относится жирный индексъ;

3) измѣненія, которыя одновременно захватываютъ 2 индекса символа. Я выражаю ихъ косыми цифрами (курсивомъ).

Такихъ измѣненій я различаю 2 рода:

а) если индексы относятся къ равнымъ осямъ, то нужно произвести перестановку;

б) если индексы относятся къ неравнымъ осямъ, то нужно одновременно переѣмѣть знаки обохъ. Напр.:

для диагональной системы символъ  $(p_0 p_1 p_2)$  выражаетъ 2 грани  $(p_0 p_1 p_2)$  и  $(\bar{p}_0 \bar{p}_1 \bar{p}_2)$  т. е. что кристаллографическая ось, къ которой относится 3-й индексъ, есть двойная ось симметріи

для тетрагональной системы символъ  $(p_0 p_1 p_2)$  выражаетъ, между прочимъ, двѣ грани  $(p_0 p_1 p_2)$  и  $(p_1 p_0 p_2)$  т. е. присутствіе диагональной вертикальной плоскости симметріи.

Наконецъ 4) существуютъ случаи, когда одновременно необходимо произвести и перестановку двухъ цифръ, и переѣму всѣхъ знаковъ индексовъ. Это я выражаю значками надъ цифрами.

Напр.  $(p'_0 p'_1 p'_2)_2$  выражаетъ, между прочимъ, двѣ грани  $(p_0 p_1 p_2)$  и  $(\bar{p}_1 \bar{p}_0 \bar{p}_2)$  т. е. показываетъ, что въ этомъ случаѣ имѣется промежуточная двойная ось симметріи.

Для гексагональной системы необходимо присоединить еще означеніе того замѣщенія, когда вмѣстѣ съ переменною знака всѣхъ индексовъ необходимо еще переменить знакъ передъ символомъ. Это замѣщеніе я выражаю скобками  $\{ \}$ . Напр.  $\{p_0 p_1 p_2\}$  выражаетъ, между прочимъ, двѣ грани  $(p_0 p_1 p_2)$  и  $-(\bar{p}_0 \bar{p}_1 \bar{p}_2)$  т. е. плоскость симметріи, перпендикулярную вертикальной оси.

Употребленіе всѣхъ этихъ символовъ подробно разъяснено въ таблицѣ, помѣщенной въ концѣ главы.

### Номенклатура видовъ структуры кристалловъ.

§ 6. Здѣсь мы входимъ въ новую область, выводы которой только въ малой своей части принадлежатъ старымъ авторамъ и успѣли заслужить всеобщее признаніе.

Для насъ прежде всего важно опредѣлить, находятся ли новыя теоретическія возрѣнія въ противорѣчій со старыми, исключаютъ ихъ, или, напротивъ того, они представляютъ только ихъ дальнѣйшее развитіе, служатъ имъ дополненіемъ?

На этотъ вопросъ я не усумнюсь дать самый положительный отвѣтъ въ утвердительномъ смыслѣ. Напр. новая болѣе полная теорія правильныхъ системъ точекъ составляетъ только болѣе полное рѣшеніе проблемы о *points distribués régulièrement dans l'espace*, впервые получившей нѣкоторое систематическое рѣшеніе въ работахъ Bravais съ тѣмъ различіемъ, что какъ у этого ученаго, такъ въ послѣдствіи и у Sohncke, въ основаніи находится еще не самое общее опредѣленіе правильныхъ системъ точекъ.

Но Bravais, ограничившись разсмотрѣніемъ кристалла какъ правильной системы молекулъ (симметрія которыхъ можетъ быть меньше, чѣмъ симметрія самой системы), оставилъ безъ вниманія и изслѣдованія ихъ частичныя сферы. Однако, идея эта, хотя и въ весьма грубой, матеріальной, формѣ, была проводима еще Haüy; этотъ старѣйшій представитель ученія о структурахъ кристалловъ даже вовсе не задавался понятіемъ о самой частицѣ, и исключительно имѣлъ въ виду частичныя сферы, которыя онъ представлялъ себѣ въ видѣ твердыхъ тѣлъ и называлъ *molécules intégrantes*.

Поэтому, моя теорія не только составляетъ дальнѣйшее развитіе теоріи Bravais и ея послѣдующей стадіи — теоріи Sohncke, но возвращается назадъ, принимаетъ въ себя еще другой элементъ структуры, совершенно упущенный дальнѣйшими теоретиками по структурахъ

кристалловъ, и составляет полное математическое рѣшеніе проблемы, только поставленной знаменитымъ Науу <sup>1)</sup>).

На теорію структуры, развитую Schoenflies'омъ, я не могу, строго говоря, смотрѣть какъ на таковую т. е. какъ на математическую теорію, относящуюся къ кристалламъ.

Всякая таковая теорія должна состоять изъ трехъ элементовъ: а) наведенія, в) заключенія и с) провѣрки <sup>2)</sup>. Въ теоріи Schoenflies'a я не нахожу двухъ послѣднихъ элементовъ, а только математическую разработку перваго изъ нихъ, рѣшеніе математической проблемы о всѣхъ возможныхъ правильныхъ системахъ точекъ <sup>3)</sup>. Въ ней нѣтъ ни того, что нуждается въ опытной провѣркѣ, ни, тѣмъ болѣе, самой провѣрки. Если бы Schoenflies утверждалъ только, что всѣ выведенные 230 типовъ существуютъ или могутъ существовать, то необходимо было бы покрайней мѣрѣ указать на то, какимъ образомъ мы могли бы убѣдиться въ этомъ на дѣлѣ, какимъ образомъ намъ слѣдовало бы отыскивать въ природѣ эти типы?

Вообще, всякая теорія структуры кристалловъ должна заключать въ себѣ указанія и признаки, характеризующіе выводимые ею виды структуры, или, по крайней мѣрѣ на то, какъ мы дойдемъ до нахождения этихъ признаковъ. Безъ этого она въ лучшемъ случаѣ представляет простой математическій выводъ безъ всякаго непосредственнаго отношенія къ тѣламъ природы.

Во всякомъ случаѣ, въ рядѣ слѣдовавшихъ другъ за другомъ воззрѣній на структуру не было противорѣчія, не было исключенія предъидущихъ, но было лишь послѣдовательное развитіе одной и той же идеи; однако, въ этомъ выводѣ преобладающую роль играла не теоретическая сторона, а чисто математическая разработка основнаго наведенія этой теоріи, завершившаяся выводомъ 230 системъ точекъ, сдѣланномъ мною и Schoenflies'омъ.

Вмѣстѣ съ тѣмъ развивалась и номенклатура. Системы точекъ, выведенныя Bravais, получили названіе пространственныхъ рѣшетокъ. 65 системъ, выведенныхъ С. Jordan'омъ, Sohncke и Schoenflies'омъ, составляютъ уже простыя правильныя системы точекъ, а 165 системъ, завершающихъ выводъ всѣхъ вообще правильныхъ системъ точекъ, представляютъ двойныя. Каждая двойная система состоитъ изъ двухъ аналогическихъ <sup>4)</sup> простыхъ системъ, коихъ всѣ элементы симметріи совмѣщенія совпадаютъ между собою.

<sup>1)</sup> О связи своей теоріи съ теоріей Науу я достаточно опредѣленно высказался въ статьѣ объ усѣхахъ теоретической кристаллографіи (Зал. Им. Минералог. Общ. т. XXVI стр. 370). Мнѣ очень пріятно видѣть подтвержденіе этого и со стороны Schoenflies'a (Groth's Zeitschrift f. Kryst. V. XX. S. 261). Не менѣе пріятно также имѣть возможность заявить здѣсь, что мой выводъ простыхъ параллелоэдровъ, представляющихъ по моей теоріи фигуру частичныхъ сферъ, вполне подтвердился самими новѣйшими изслѣдованіями столь выдающихся математиковъ какъ Minkowski и Schoenflies.

<sup>2)</sup> См. Дж. Ст. Милль. Система логики, книга III глава XI.

<sup>3)</sup> Въ первый разъ такой полный выводъ былъ сдѣланъ въ сочиненіи „Симметрія правильныхъ системъ фигуръ“ 1890, а затѣмъ онъ повторенъ въ сочиненіи Шенфлиса „Krystallsysteme und Krystallstructur“, 1891, гдѣ и признается вѣрность моего предшествовавшаго вывода (стр. 622).

<sup>4)</sup> т. е. такихъ, изъ которыхъ одна можетъ быть выведена изъ другой зеркальнымъ отраженіемъ.

Вообще, для элементовъ симметріи правильныхъ системъ фигуръ мы можемъ составить слѣдующую таблицу

*Симметрія правильныхъ системъ фигуръ.*

Симметричность		Симметрія совмѣщенія	
Сложная симметрія	Плоскости симметричности		Оси совмѣщенія
Оси и плоскости сложной симметріи.	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px; writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Плоскости симметріи.</div> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px; writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Плоскости (симметрич- нато) совмѣщенія.</div> </div>		<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px; writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Оси симметріи.</div> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 5px; writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Оси винтовыя.</div> </div>

Что касается номенклатуры самихъ правильныхъ системъ точекъ, то, какъ известно, мы можемъ выразить ихъ алгебраическими уравненіями. Слѣдовательно, мы имѣемъ въ данномъ случаѣ идеально совершенную номенклатуру.

Всѣ только-что рассмотрѣнные термины относятся къ правильнымъ системамъ точекъ, полный выводъ которыхъ составляетъ основаніе для теоріи структуры кристалловъ.

Теперь обратимся къ самой теоріи:

Новая теорія разсматриваетъ не только кристаллическую, но и химическую частицу какъ весьма сложное образованіе. Она не упускаетъ изъ виду, что въ составъ химической частицы входятъ не только атомы обыкновеннаго вещества, но что она окружена еще эфиромъ, частицы котораго во всякомъ случаѣ разсыяны по всему пространству, не оставляя пустыхъ мѣстъ; распределеніе этого эфира зависитъ отъ расположенія атомовъ и такъ съ ними связано, что, говоря о геометрическомъ расположеніе частицъ, нельзя отдѣлять одного отъ другаго; а разсматривая обыкновенные атомы съ окружающимъ ихъ эфиромъ въ совокупности, приходится сказать, что частицы со своими сферами выполняютъ пространство безъ промежутковъ.

Кристаллическая частица въ собственномъ смыслѣ слова выполняетъ пространство въ параллельномъ положеніи; это слѣдуетъ изъ основной характеристики кристаллическаго вещества — проявлять одинаковыя свойства при параллельныхъ перемѣщеніяхъ разсматриваемой точки. Часть пространства, ею обнимаемаго, есть поэтому параллелоэдръ.

Частица можетъ имѣть въ себѣ полную симметрію всей совокупности. Въ такомъ случаѣ принадлежащая ей часть пространства есть простой выпуклый параллелоэдръ, и система называется симморфической.



Или же она может состоять изъ подчиненныхъ частицъ двоякаго рода; однѣ изъ нихъ симметричны по отношенію къ другимъ <sup>1)</sup>).

Въ такомъ случаѣ простой выпуклый параллелоэдръ принадлежитъ подчиненнымъ частицамъ, а сложной частицѣ будетъ соответствовать сложный параллелоэдръ, и сама система называется гемисимморфической <sup>2)</sup>).

Наконецъ, математически возможны и такія системы частицъ, симметрія которыхъ не одинакова съ симметріей самихъ частицъ, такъ что частицы эти расположены въ системѣ въ различно ориентированномъ положеніи. Но такимъ подчиненнымъ частицамъ уже не будетъ соответствовать опредѣленныхъ частей пространства, и даже имъ приходилось бы удѣлить разбѣденныя другъ отъ друга части пространства какъ принадлежащія имъ параллелоэдры. Для такихъ системъ понятіе о частичныхъ сферахъ теряетъ опредѣленный смыслъ и потому сами системы не имѣютъ больше реального значенія и не могутъ входить въ составъ кристаллическихъ тѣлъ. Такія системы называются асимморфическими.

Говоря о симморфическихъ системахъ, я позволю себѣ еще замѣтить, что мнѣ представляется съ физической точки зрѣнія совершенно непонятнымъ и то, отчего бы подчиненныя частицы могли бы располагаться одна рядомъ съ другой въ повороченномъ по извѣстному закону порядкѣ, тѣмъ болѣе, что всеобщій опытъ свидѣтельствуетъ о стремленіи кристаллическихъ частичекъ располагаться въ параллельномъ положеніи <sup>3)</sup>).

Совсѣмъ другаго рода явленіе представляютъ различно ориентированныя индивиды псевдосимметрическихъ кристалловъ, происшедшихъ при превращеніи одного полиморфнаго видоизмѣненія въ другое. Причина этого совершенно ясна, и объясненіе этого, равно какъ и самаго факта полиморфныхъ превращеній, приведено въ «Первой попыткѣ опредѣлить расположеніе частицъ нѣкоторыхъ минераловъ».

<sup>1)</sup> Sohncke считаетъ мало вѣроятнымъ одновременное присутствіе частицъ двоякаго рода — симметричныхъ другъ по отношенію къ другу. Но не слѣдуетъ забывать, что въ кристаллѣ, какъ и во всѣхъ тѣлахъ вообще — разъ мы обратимся къ явленіямъ, происходящимъ внутри самой кристаллической частицы — мы увидимъ систему динамическую, и я не вижу ничего невѣроятнаго въ томъ, чтобы допустить, что если кака-нибудь система атомовъ даетъ устойчивое динамическое равновѣсіе, то такое же равновѣсіе иногда можетъ дать и симметрично расположенная къ ней система атомовъ. Динамизмъ же явленій приводитъ къ тому, что въ извѣстныхъ тѣсныхъ предѣлахъ атомы постоянно перестраиваются, переходя изъ одного устойчиваго равновѣсія къ другому, ему симметричному. Общій же типъ кристаллической структуры при этомъ движеніи сохраняется.

<sup>2)</sup> Къ сожалѣнію, послѣ отѣта Schoenflies'a на мое замѣчаніе о пространственныхъ рѣшеткахъ въ расширенномъ значеніи слова, мнѣ приходится еще сильнѣе отгнѣнить, что это расширенное понятіе оставалось этому ученому неизвестнымъ. Это лучше всего доказываетъ его ссылка совсѣмъ не на тотъ предметъ, о которомъ идетъ рѣчь (Groth's Zeitschrift XX, S. 260). Вообще, для пониманія моего замѣчанія необходимо хорошо ориентироваться въ теоріи параллелоэдровъ, и я очень радъ, что въ самое послѣднее время нѣмецкіе математики, въ томъ числѣ и Schoenflies, обратили на эту теорію должное вниманіе.

<sup>3)</sup> Такимъ образомъ я считаю невѣроятнымъ именно то, что нѣкоторые авторы, вслѣдъ за Sohncke, прилекаютъ къ объясненію вращательной поляризаціи, и даже къ объясненію полиморфизма. Мнѣ очень пріятно видѣть, что мой сомнѣніи, давно уже высказанныя, (Зап. Минерал. Общ. XXVI, стр. 361 и сл.) раздѣляются и такимъ знакомъ такъ называемыхъ оптическихъ аномалій какъ R. Brauns. (Die optischen Anom. d. Kryst. 360).

Въ заключеніе нѣсколько словъ объ одномъ изъ существенныхъ признаковъ различія структуръ. Таковымъ является типъ параллелоэдра, по которому построена кристаллическая частица. Типъ этотъ вполне опредѣленъ, если мы знаемъ всѣ направленія роста кристалла. Оставляя въ сторонѣ другіе признаки опредѣленія такого тѣла, я ограничусь тѣмъ, что предложу структуры:

соответствующую	гексапараллелоэдру	назвать	октаэдрической
»	гексапараллелоэдру	»	додекаэдрической
»	тетрапараллелоэдру	»	призматической
»	трипараллелоэдру	»	гексаэдрической

Такимъ образомъ, болѣе подробно разобранные мною виды структуры лейцита, борцита и перовскита, всѣ три октаэдрическіе и притомъ гемисимморфическіе.

### Таблица видовъ симметріи и простыхъ фигуръ.

Table des modes de symétrie et des formes simples.

#### I. Система дигональная (système digonal).

A. Подсистема триклинная (sousystème triclínique).

##### 1. Геміэдрія (Hémiédrie).

Видъ симметріи: гемипинакоидальный (symétrie hemipinacoïdale).

Новые термины.	Символь.	Старые термины.	Termes systématiques.
1-ый гемипинакоидъ	(100)	отсутствуетъ.	1-r hemipinacoïde
2-ой »	(010)	»	2-d »
3-ий »	(001)	»	3-me »
Гемипинакоидъ 1-го рода	$(0p_1p_2)$	»	Hemipinacoïde de 1-re espèce
» 2-го »	$(p_00p_2)$	»	» » 2-de »
» 3-го »	$(p_0p_10)$	»	» » 3-me »
» 4-го »	$(p_0p_1p_2)$	»	» » 4-me »

##### 2. Голоэдрія (Holoédrie).

Видъ симметріи: пинакоидальный (symétrie pinacoïdale).

1-ый пинакоидъ	[100]	Макропинакоидъ	1-r pinacoïde
2-ой »	[010]	Брахипинакоидъ	2-d »
3-ий »	[001]	Базопинакоидъ	3-me »
Пинакоидъ 1-го рода	$[0p_1p_2]$	Гемибрахидома	Pinacoïde de 1-re espèce
» 2-го »	$[p_00p_2]$	Гемимакродома	» » 2-de »
» 3-го »	$[p_0p_10]$	Гемипризма	» » 3-me »
» 4-го »	$[p_0p_1p_2]$	Тетартопирамида	» » 4-me »

*Подсистема моноклиная (soussystème monoclinique).*

## 3. Гемиморфія. (Hémimorphie).

**Видь симметріи: гемипризматическій осевой. Symétrie hemiprismatique axiale.**

1-ый пинакоидъ	(100)	отсутствуетъ	1-er pinacoïde
2-ой гемипинакоидъ	(010)	»	2-d hemipinacoïde
3-ий пинакоидъ	(001)	»	3-me pinacoïde
Гемипризма 1-го рода	(0p <sub>1</sub> p <sub>2</sub> )	»	Hemiprisme de 1-re espèce
Пинакоидъ 2-го рода	(p <sub>0</sub> 0p <sub>2</sub> )	»	Pinacoïde » 2-de »
Гемипризма 3-го рода	(p <sub>0</sub> p <sub>1</sub> 0)	»	Hemiprisme » 3-me »
Гемипризма 4-го рода	(p <sub>0</sub> p <sub>1</sub> p <sub>2</sub> )	»	» » 4-me »

## 4. Геміэдрія. (Hémiédrie).

**Видь симметріи: гемипризматическій безосный. Symétrie hemiprismatique non axiale.**

1-ый гемипинакоидъ	(100)	отсутствуетъ	1-er hemipinacoïde
2-ой пинакоидъ	(010)	»	2-d pinacoïde
3-ий гемипинакоидъ	(001)	»	3-me hemipinacoïde
Гемипризма 1-го рода	(0p <sub>1</sub> p <sub>2</sub> )	»	Hemiprisme de 1-re espèce
Пинакоидъ 2-го рода	(p <sub>0</sub> 0p <sub>2</sub> )	»	Hemipinacoïde » 2-de »
Гемипризма 3-го рода	(p <sub>0</sub> p <sub>1</sub> 0)	»	Hemiprisme » 3-me »
Гемипризма 4-го рода	(p <sub>0</sub> p <sub>1</sub> p <sub>2</sub> )	»	» » 4-me »

## 5. Голоэдрія. (Holoédrie).

**Видь симметріи: ромбопризматическій. Symétrie rhomboprismatique.**

1-ый пинакоидъ	(100)	ортопинакоидъ	1-er pinacoïde
2-ой »	(010)	клинопинакоидъ	2-d »
3-ий »	(001)	базопинакоидъ	3-me »
Призма <sup>1)</sup> 1-го рода	(0p <sub>1</sub> p <sub>2</sub> )	клинодома	Prisme <sup>1)</sup> de 1-re espèce
Пинакоидъ 2-го рода	(p <sub>0</sub> 0p <sub>2</sub> )	гемипортодома	Pinacoïde » 2-de »
Призма 3-го рода	(p <sub>0</sub> p <sub>1</sub> 0)	призма	Prisme » 3-me »
Призма 4-го рода	(p <sub>0</sub> p <sub>1</sub> p <sub>2</sub> )	гемипирамида	» » 4-me »

<sup>1)</sup> Подразумѣвается призма ромбическая; sousentendu prisme rhombique.

*Подсистема ромбическая (Soussysteme orthorhombique).*6. Геміадрія. (Hémiédrie holoaxe <sup>1)</sup>).**Видъ симметріи: сфеноэдрической. (Symétrie sphénoédrique).**

1-ый пинакоидъ	(100)	макропинакоидъ	1-er pinacoïde
2-ой »	(010)	брахипинакоидъ	2-d »
3-ий »	(001)	базопинакоидъ	3-me pinacoïde
Призма 1-го рода	(0p <sub>1</sub> p <sub>2</sub> )	брахидома	Prisme de 1-re espèce
» 2-го »	(p <sub>0</sub> 0p <sub>2</sub> )	макродома	» » 2-de »
» 3-го »	(p <sub>0</sub> p <sub>1</sub> 0)	призма	» » 3-me »
Ромбическій сфеноэдръ	(p <sub>0</sub> p <sub>1</sub> p <sub>2</sub> )	ромбич. сфеноэдръ.	Sphénoèdre rhombique

## 7. Гемиморфія. (Antihémiédrie).

**Видъ симметріи: ромбо-пирамидальный. (Symétrie rhombopyramidale).**

1-ый пинакоидъ	(100)	макропинакоидъ	1-er pinacoïde
2-ой »	(010)	брахипинакоидъ	2-d »
3-ий гемипинакоидъ	(001)	отсутствуетъ	3-me hemipinacoïde
Гемипризма 1-го рода	(0p <sub>1</sub> p <sub>2</sub> )	»	Hemiprisme de 1-re espèce
» 2-го »	(p <sub>0</sub> 0p <sub>2</sub> )	»	» » 2-de »
Призма 3-го рода	(p <sub>0</sub> p <sub>1</sub> 0 <sub>2</sub> )	призма	Prisme » 3-me »
Ромбическая пирамида	(p <sub>0</sub> p <sub>1</sub> p <sub>2</sub> )	отсутствуетъ	Pyramide rhombique

## 8. Голоэдрія. (Holoédrie).

**Видъ симметріи: ромбо-бипирамидальный. (Symétrie rhombobipyramidale).**

1-ый пинакоидъ	(100)	макропинакоидъ	1-er pinacoïde
2-ой »	(010)	брахипинакоидъ	2-d »
3-ий »	(001)	базопинакоидъ	3-me »
Призма 1-го рода	(0p <sub>1</sub> p <sub>2</sub> )	брахидома	Prisme de 1-re espèce
» 2-го »	(p <sub>0</sub> 0p <sub>2</sub> )	макродома	» » 2-de »
» 3-го »	(p <sub>0</sub> p <sub>1</sub> 0)	призма	» » 3-me »
Ромбическая бипирамида	(p <sub>0</sub> p <sub>1</sub> p <sub>2</sub> )	ромбическ. пирам.	Bipyramide rhombique

<sup>1)</sup> Les termes des modes de méridrie sont donnés (bien qu'incomplètement) d'après M. Mallard.

## II. Система тетрагональная. (Système tétragonal).

### 9. Пирамидальная гемиморфия.

Видь симметрии: тетрагонально-пирамидальный. *Symétrie pyramidale tétragonale.*

Гемипинакоидь	$(0'0'1)_2$	отсутствует	Hemipinacoidé
Тетрагон. призма 2-го рода	$(1'0'0)_2 = (0'1'0)_2$	тетраг. призм. 2-го р.	Prisme de 2-de espèce
» » 1-го рода	$(1'1'0)_2$	» пр. 1-го »	» » 1-re »
» » 3-го »	$(p'_0 p'_1 0)_2$	» » 3-го »	» » 3-me »
Тетрагон. пирам. 2-го »	$(0' p'_1 p'_2)_2 = (p'_0 0' p'_2)_2$	отсутствует.	Pyramide » 2-de »
» » 1-го »	$(p'_0 p'_0 p'_2)_2$	»	» » 1-re »
» » 3-го »	$(p'_0 p'_1 p'_2)_2$	»	» » 3-me »

### 10. Гемиморфия (Anti hémiédrie).

Видь симметрии: дитетрагонально-пирамидальный. *Symétrie pyramidale ditétragonale.*

Гемипинакоидь	$(\bullet\bullet 01)_2$	отсутствует	Hemipinacoidé
Тетрагон. призма 2-го рода	$(\bullet\bullet 00)_2 = (\bullet\bullet 00)_2$	тетраг. призм. 2-го р.	Prisme de 2-de espèce
» » 1-го »	$(\bullet\bullet 10)_2$	» » 1-го р.	» » 1-re »
Дитетрагональная призма	$(p_0 p_1 0)_2$	дитетрагон. призма	» ditétragonal
Тетрагон. пирам. 2-го рода	$(\bullet p_0 p_1 p_2)_2 = (p_0 \bullet p_2)_2$	отсутствует	Pyramide de 2-re espèce
» » 1-го »	$(p_0 p_0 p_2)_2$	»	» » 1-re »
Дитетрагон. пирамида	$(p_0 p_1 p_2)_2$	»	» ditétragonale

### 11. Тетартоэдрія. (Tétartoédrie).

Видь симметрии: тетрагонально-сфеноэдрической. (*Symétrie sphenoédrique tétragonale.*)

Пинакоидь	$(001')_2$	Одинаково <sup>1)</sup>	Pinacoidé
Тетрагон. призма 2-го рода	$(100')_2 = (010')_2$	»	Prisme de 2-de espèce
» » 1-го »	$(110')_2$	»	» » 1-re »
» » 3-го »	$(p_0 p_1 0')_2$	»	» » 3-me »
» сфеноэдрь 2-го рода	$(0 p_1 p_2')_2 = (p_0 0 p_2')_2$	Т. сфеноидь 2-го р.	Sphenoèdre de 2-de espèce
» » 1-го »	$(p_0 p_0 p_2')_2$	» » 1-го »	» » 1-re »
» » 3-го »	$(p_0 p_1 p_2')_2$	» » 3-го »	» » 3-re »

<sup>1)</sup> Подразумывается одинаковость нового и старого термина.

## 12. Бипирамидальная геміэдрія. (Parahémiédrie).

**Видъ симметріи:** тетрагонально-бипирамидальный. (*Symétrie bipyramidale tétragonale*).

Пинакоидъ	$(0'0'1)_2$	Одинаково	Pinacoïde
Тетр. призма 2-го рода	$(1'0'0)_2 = (0'1'0)_2$	»	Prisme de 2-de espèce
» » 1-го »	$(1'1'0)_2$	»	» » 1-re »
» » 3-го »	$(p'_0p'_10)_2$	»	» » 3-me »
Тетр. биширам. 2-го рода	$(0p'_1p_2)_2 = (p'_00'p_2)_2$	Тетр. пирам. 2-го р.	Bipyram. » 2-de »
» » 1-го »	$(p'_0p'_0p_2)_2$	» » 1-го »	» » 1-re »
» » 3-го »	$(p'_0p'_1p_2)_2$	» » 3-го »	» » 3-me »

## 13. Трапецоэдрическая геміэдрія. (Hémiédrie holoaxe).

**Видъ симметріи:** тетрагональнотрапецоэдрической. (*Symétrie trapezoédrique tétragonale*).

Пинакоидъ	$(0'0'I)_2$	Одинаково	Pinacoïde
Тетр. призма 2-го рода	$(1'0'I)_2 = (0'1'0)_2$	»	Prisme de 2-de espèce
» » 1-го »	$(1'1'0)_2$	»	» » 1-re »
Дитетрагональная призма	$(p'_0p'_10)_2$	»	» ditétragonal
Тетр. биширамида 2-го рода	$(0'p'_1p_2)_2 = (p'_00'p_2)_2$	Тетр. пир. 2-го р.	Bipyram. de 2-de espèce
» » 1-го »	$(p'_0p'_0p_2)_2$	» » 1-го »	» » 1-de »
Тетр. трапецоэдръ	$(p'_0p'_1p_2)_2$	одинаково	Trapezoèdre

## 14. Скаленоэдрическая геміэдрія. (Antihémiédrie).

**Видъ симметріи:** тетрагонально-скаленоэдрической. (*Symétrie scalenoédrique tétragonale*).

Пинакоидъ	$(001)_2$	Одинаково	Pinacoïde
Тетр. призма 2-го рода	$(110)_2 = (010)_2$	»	Prisme de 2-de espèce
Дитетрагональн. призма	$(p_0p_10)_2$	»	Prisme ditétragonal
Тетр. биширамида	$(0p_1p_2)_2 = (p_00p_2)_2$	Тетр. пирамида	Bipyramide
Тетр. сфеноэдръ	$(p_0p_0p_2)_2$	одинаково	Sphenoèdre
Тетр. скаленоэдръ	$(p_0p_1p_2)_2$	»	Scalenoèdre

## 15. Голоэдрія. (Holoédrie).

**Видъ симметр.:** дитетрагонально-бипирамидальный. (*Symétrie bipyramidale ditétragonale*).

Пинакоидъ	$(001)_2$	Одинаково	Pinacoïde
Тетр. призма 2-го рода	$(100)_2 = (010)_2$	»	Prisme de 2-de espèce
Дитетрагон. призма	$(p_0p_10)_2$	»	Prisme ditétragonal
Тетр. биширамида	$(0p_1p_2)_2 = (p_00p_2)_2$	Тетр. пирамида	Bipyramide tétragonale
Дитетрагон. биширамида	$(p_0p_1p_2)_2$	Дитетраг. пирам.	» ditétragonale

**III. Система гексагональная. (Système hexagonal).**

16. Пирамидальная тетартоморфия. (Tetartoédrie du syst. ternaire).

**Видь симметрии: тригонально-пирамидальный. (Symétrie pyramidale trigonale).**

Гемипинакоидь	$(111)_3$	отсутствует	Hemipinacoïde
Тригональн. призма 1-го р.	$(2\bar{1}\bar{1})_3$	одинаково	Prisme de 1-re espèce
» » 2-го »	$(1\bar{1}0)_3$	»	» » 2-de »
» » 3-го »	$(p_1 + p_2 p_1 p_2)_3$	»	» » 3-me »
Тригональн. пирам. 1-го р.	$(p_0 p_1 p_1)_3$	отсутствует	Pyramide » 1-re »
» » 2-го »	$(p_0^2 p_0 - p_2 p_2)_3$	»	» » 2-de »
» » 3-го »	$(p_0 p_1 p_2)_3$	»	» » 3-me »

17. Тетартоморфия. (Antihemiédrie du syst. ternaire).

**Видь симметрии: дитригонально-пирамидальный. (Symétrie pyramidale ditrigonale).**

Гемипинакоидь	$(111)_3$	отсутствует	Hemipinacoïde
Тригональн. призма	$(2\bar{1}\bar{1})_3$	одинаково	Prisme trigonal
Гексагональн. »	$(1\bar{1}0)_3$	»	» hexagonal
Дитригональн. »	$(p_0 + p_2 p_1 p_2)_3$	одинаково	» ditrigonal
Тригональн. пирамида	$(p_0^2 p_1)_3$	отсутствует	Pyramide trigonale
Гексагональн. »	$(p_0^2 p_0 - p_2 p_2)_3$	»	» hexagonale
Дитригональн. »	$(p_0 p_1 p_2)_3$	»	» ditrigonale

18. Бипирамидальная тетартоэдрія.

**Видь симметрии: тригонально-бипирамидальный. (Symétrie bipyramidale trigonale).**

Пинакоидь	$\{111\}_3$	одинаково	Pinacoïde
Тригональн. призма 1-го р.	$\{2\bar{1}\bar{1}\}_3$	»	Prisme de 1-re espèce
» » 2-го »	$\{1\bar{1}0\}_3$	»	» » 2-de »
» » 3-го »	$\{p_1 + p_2 p_1 p_2\}_3$	»	» » 3-me »
Тригон. бипирамида 1-го р.	$\{p_0 p_1 p_1\}_3$	Триг. пирам. 1-го р.	Bipyram. de 1-re »
» » 2-го »	$\{p_0^2 p_0 - p_2 p_2\}_3$	» » 2-го »	» » 2-de »
» » 3-го »	$\{p_0 p_1 p_2\}_3$	» » 3-го »	» » 3-me »

## 19. Трапецоэдрическая тетартоэдриа. (Hem. holoaxe du syst. ternaire).

**Видъ симметріи:** тригонально-трапецоэдрическій. (Symétrie trapezoédrique trigonale).

Пинакоидъ	$(1'1'1')_3$	одинаково	Pinacoïde
Гексагоналн. призма	$(2'1'1')_3$	»	Prisme de 1-re espèce
Дитригональн. »	$(1'1'0')_3$	»	» » 2-de »
» »	$(p'_1 + p'_2 p'_1 p'_2)_3$	»	Prisme ditrigonal
Ромбоэдръ	$(p'_0 p'_1 p'_1)_3$	»	Rhomboèdre
Тригональн. бипирамида	$(p'_0 2p'_0 - p'_2 p'_2)_3$	Тригон. пирамида	Bipyramide
Тригональн. трапецоэдръ	$(p'_0 p'_1 p'_2)_3$	одинаково	Trapezoèdre

## 20. Гемидрія.

**Видъ симметріи:** дитригонально-бипирамидальный. (Symétrie bipyramidale ditrigonale).

Пинакоидъ	$\{111\}_3$	одинаково	Pinacoïde
Тригон. призма 1-го р.	$\{211\}_3$	»	Prisme de 1-re espèce
» » 2-го »	$\{110\}_3$	»	» » 2-de »
Дитригональн. призма	$\{p'_1 + p'_2 p'_1 p'_2\}_3$	»	» ditrigonal
Тригон. бипирам. 1-го р.	$\{p'_0 p'_1 p'_1\}_3$	Триг. пир. 1-го р.	Bipyram. de 1-re espèce
» » 2-го »	$\{p'_0 2p'_0 - p'_2 p'_2\}_3$	Триг. » 2-го »	» » 2-de »
Дитригональн. бипирамида	$\{p'_0 p'_1 p'_2\}_3$	Дитригон. пирам.	» ditrigonale

## 21. Пирамидальная гемиморфія.

**Видъ симметріи:** гексагонално-пирамидальный. (Symétrie pyramidale hexagonale).

Гемипинакоидъ	$\pm (111)_3$	отсутствуетъ	Hemipinacoïde
Гексаг. призма 1-го рода	$\pm (211)_3$	одинаково	Prisme de 1-re espèce
» » 2-го »	$\pm (110)_3$	»	» » 2-de »
» » 3-го »	$\pm (p_1 + p_2 p_1 p_2)_3$	»	» » 3-me »
Гексаг. пирамида 1-го р.	$\pm (p_0 p_1 p_1)_3$	отсутствуетъ	Pyram. » 1-re »
» » 2-го »	$\pm (p_0 2p_0 - p_2 p_2)_3$	»	» » 2-de »
» » 3-го »	$\pm (p_0 p_1 p_2)_3$	»	» » 3-me »

## 22. Гемиморфія.

**Видъ симметріи:** дигексагонално-пирамидальный. (Symétrie pyramidale dihexagonale).

Гемипинакоидъ	$\pm (111)_3$	отсутствуетъ	Hemipinacoïde
Гексаг. призма 1-го рода	$\pm (211)_3$	одинаково	Prisme de 1-re espèce
» » 2-го »	$\pm (110)_3$	»	» » 2-de »



Дигексагональн. призма	$\pm (\overline{p_1} + p_2 \overline{p_1} \overline{p_2})_3$	одинаково	Prisme dihexagonal
Гексагон. пирам. 1-го р.	$\pm (\overline{p_0} p_1 p_1)_3$	отсутствует	Pyram. de 1-re espèce
» » 2-го »	$\pm (\overline{p_0} 2p_0 - p_2 p_2)_3$	»	» » 2-de »
Дигексагональн. пирамида	$\pm (\overline{p_0} p_1 p_2)_3$	»	» » dihexagonal

23. Ромбоэдрическая тетартэдрия. (Parahémiédrie du syst. ternaire).

**Видь симметрии: ромбоэдрической. (Symétrie rhomboédrique).**

Пинакоидъ	$[\overline{111}]_3$	одинаково	Pinacoïde
Гексагон. призма 1-го р.	$[\overline{211}]_3$	»	Prisme de 1-re espèce
» » 2-го »	$[\overline{110}]_3$	»	» » 2-de »
» » 3-го »	$[p_1 + p_2 \overline{p_1} \overline{p_2}]_3$	»	» » 3-me »
Ромбоэдръ 1-го рода	$[p_0 p_1 p_1]_3$	»	Rhomboèdre de 1-re »
» 2-го »	$[p_0 2p_0 - p_2 p_2]_3$	»	» » 2-de »
» 3-го »	$[p_0 p_1 p_2]_3$	»	» » 3-me »

24. Биширамидальная гемэдрия. (Parahémiédrie du syst. sénaire).

**Видь симметрии: гексагонально-бипирамидальный. (Symétrie bipyramidale hexagonale).**

Пинакоидъ	$\pm [\overline{111}]_3$	одинаково	Pinacoïde
Гексагон. призма 1-го р.	$\pm [\overline{211}]_3$	»	Prisme de 1-re espèce
» » 2-го »	$\pm [\overline{110}]_3$	»	» » 2-de »
» » 3-го »	$\pm [p_1 + p_2 \overline{p_1} \overline{p_2}]_3$	»	» » 3-me »
Гексаг. бипирам. 1-го рода	$\pm [p_0 p_1 p_1]_3$	Гексаг. пир. 1-го р.	Bi-pyram. de 1-re espèce
» » 2-го »	$\pm [p_0 2p_0 - p_2 p_2]_3$	» » 2-го »	» » 2-de »
» » 3-го »	$\pm [p_0 p_1 p_2]_3$	» » 3-го »	» » 3-me »

25. Трапецоэдрическая гемэдрия. (Hem. holoaxe du syst. sénaire).

**Видь симметрии: гексагонально-трапецоэдрической. (Symétrie trapezoédrique hexagonale).**

Пинакоидъ	$\pm (\overline{1'1'1'})_3$	одинаково	Pinacoïde
Гексагон. призма 1-го рода	$\pm (\overline{2'1'1'})_3$	»	Prisme de 1-re espèce
» » 2-го »	$\pm (\overline{1'1'0'})_3$	»	» » 2-de »
Дигексагон. призма	$\pm (\overline{p'_1} + p'_2 \overline{p'_1} \overline{p'_2})_3$	»	» dihexagonal
Гексаг. бипир. 1-го рода	$\pm (p'_0 p'_1 p'_1)_3$	Гекс. пир. 1-го р.	Bi-pyram. de 1-re espèce
» » 2-го »	$\pm (p'_0 2p'_0 - p'_2 p'_2)_3$	» » 2-го »	» » 2-de »
» трапецоэдръ	$\pm (p'_0 p'_1 p'_2)_3$	одинаково	Trapezoèdre

## 26. Скаленоэдрическая геміэдрія. (Holoédrie du syst. ternaire).

Видъ симметріи: гексагонально-скаленоэдрический. (Symétrie scalenoédrique hexagonale).

Пинакоидъ	$[\overline{111}]_3$	одинаково	Pinacoïde
Гексаг. призма 1-го рода	$[\overline{2\overline{11}}]_3$	»	Prisme de 1-re espèce
» » 2-го »	$[\overline{1\overline{10}}]_3$	»	» » 2-de »
Дигексагон. призма	$[p_0 + p_2 \overline{p_1 p_2}]_3$	»	» dihexagonal
Ромбоэдръ	$[p_0 p_1 p_2]_3$	»	Rhomboèdre
Гексагон. бипирамида	$[p_0^2 p_0 - p_2 p_2]_3$	Гекс. пирамида	Bipyramide
Скаленоэдръ	$[p_0 p_1 p_2]_3$	одинаково	Scalenoèdre

## 27. Голоэдрія. (Holoédrie du syst. sénaire).

Видъ симметріи: дигексагонально-бипирамидальный. (Sym. bipyramidale dihexagonale).

Пинакоидъ	$\pm [\overline{111}]_3$	одинаково	Pinacoïde
Гексагон. призма 1-го р.	$\pm [\overline{2\overline{11}}]_3$	»	Prisme de 1-re espèce
» » 2-го »	$\pm [\overline{1\overline{10}}]_3$	»	» » 2-de »
Дигексагоналн. призма	$\pm [p_1 + p_2 \overline{p_1 p_2}]_3$	»	» dihexagonal
Гексаг. бипирамида 1-го р.	$\pm [p_0 p_1 p_2]_3$	Гекс. пирам. 1-го р.	Bipyram. de 1-re espèce
» » 2-го »	$\pm [p_0^2 p_0 - p_2 p_2]_3$	» » 2-го »	» » 2-de »
Дигексагон. бипирамида	$\pm [p_0 p_1 p_2]_3$	Дигекс. пирам.	» dihexagonale

По отношенію къ видамъ симметріи кубооктаэдрической системы ограничимся замѣчаніемъ о неправильности термина «параллельногранная» геміэдрія, который долженъ быть замѣненъ терминомъ «додекаэдрическая» геміэдрія.

Въ заключеніе о видахъ симметріи нужно сказать, что хотя здѣсь кромѣ систематическихъ и рациональныхъ терминовъ приведены и старыя (имѣющія въ основаніи мэроэдрическія соотношенія фигуръ между собою, изучавшіяся первоначально эмпирическимъ путемъ), однако, нужно полагать, что нерациональныя названія будутъ современемъ оставлены, и потому желательно возможно меньшее ихъ примѣненіе.

## II. ОСНОВАНІЯ НОВАГО МЕТОДА КРИСТАЛЛОГЕОМЕТРИЧЕСКИХЪ ИЗСЛѢДОВАНІЙ.

§ 7. Инструменты, употреблявшіеся до сихъ поръ для гониометрическихъ изслѣдованій кристалловъ и основанные на Wollaston'овскомъ принципѣ отраженія сигнала отъ кристаллическихъ граней, имѣли одну, и только одну, ось вращенія. Назначеніе ихъ въ томъ и состоитъ, чтобы измѣрять уголъ, на который кристаллъ повернуть около этой оси. Для отсчитыванія служитъ лимбъ, перпендикулярный къ этой оси. Смотря потому, какое положеніе придаютъ въ пространствѣ этой оси, горизонтальное или вертикальное, самые гониометры раздѣляются на два типа.

Нетрудно доказать, что такая конструкція измѣрительныхъ приборовъ была бы весьма цѣлесообразна, если бы всѣ плоскости измѣряемаго кристалла составляли одинъ поясъ, т. е. были бы параллельны одной и той же прямой, называемой осью пояса.

Для измѣренія намъ нужно такъ расположить кристаллъ на инструментѣ, чтобы ось пояса была параллельна оси гониометра, и затѣмъ при измѣреніи угла какой-нибудь пары граней оставалось бы представляемое мысленно ребро пересѣченія обѣихъ граней пары привести къ совпаденію съ осью инструмента.

Приведеніе ребра пересѣченія двухъ граней кристалла въ положеніе, параллельное оси инструмента, называется юстированіемъ, а совмѣщеніе этого ребра съ осью инструмента—центрированіемъ кристалла.

Употребленіе коллиматора съ сигналомъ, расположеннымъ въ главномъ фокусѣ его оптической системы, дѣлаетъ процессъ центрированія излишнимъ; въ этомъ случаѣ направленіе параллельныхъ падающихъ, равно какъ и отраженныхъ, лучей не зависитъ отъ того, совпадаетъ ли кристаллическая плоскость съ осью гониометра, или находится немного выше или ниже. Такое расположеніе гониометра съ двумя трубамн характеризуетъ типъ гониометровъ Митчерлиха, если при этомъ ось инструмента имѣетъ горизонтальное положеніе. Въ послѣднее же время чаще употребляются гониометры съ вертикальною осью.

Въ этомъ случаѣ и вычисления имѣли бы вполне рациональное основаніе. Мы могли бы именно воспользоваться изящнымъ методомъ зональныхъ вычислений, введеннымъ Miller'омъ и разработаннымъ позднѣйшими авторами <sup>1)</sup>.

Но развѣ съ такимъ случаемъ имѣемъ мы дѣло при гониометрическихъ изслѣдованіяхъ кристалловъ? нетолько этотъ случай не есть общій случай при такихъ изслѣдованіяхъ, но онъ настолько исключителенъ, что еслибы и встрѣтился, не далъ бы намъ данныхъ для основной характеристики наблюдаемаго кристалла. Для этого необходимо знаніе элементовъ кристалла, а элементы эти могутъ быть опредѣлены только въ томъ случаѣ, когда извѣстно положеніе четырехъ граней, изъ коихъ никакія три не находятся въ одномъ поясѣ.

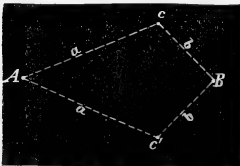
Пространственное положеніе граней кристалла опредѣляется положеніемъ ихъ полюсовъ, т. е. точекъ касанія на сферѣ граней, параллельныхъ даннымъ. Положеніе же полюсовъ вполне аналогично положенію звѣздъ на небесной сферѣ, или положенію географическихъ пунктовъ на поверхности земной сферы. Положеніе это опредѣляется во всѣхъ случаяхъ тригонометрическими координатами, получающими различныя названія, смотря по предмету. Въ астрономіи такими координатами являются: 1) прямое восхожденіе и 2) склоненіе, или астрономическія долгота и широта; на земной сферѣ пункты опредѣляются географическими: 1) долготой и 2) широтой мѣста, составляющими географическія координаты. Аналогично этому я принимаю за кристаллографическія координаты 1) долготу и 2) широту полюса кристалла.

Во всѣхъ случаяхъ долгота выражаетъ нѣкоторый двугранный уголъ, а широта — нѣкоторую дугу большого круга, и во всѣхъ же случаяхъ двѣ тригонометрическія координаты опредѣляютъ положеніе полюса однозначно. Всѣмъ, конечно, извѣстно, что если кто-нибудь назоветъ намъ долготу и широту мѣста, напр. скажетъ, что данный пунктъ имѣетъ  $60^\circ$  сѣв. широты и  $0^\circ$  долготы отъ Пулкова, то мы будемъ подразумѣвать одинъ единственный пунктъ на поверхности земного шара, а именно городъ С.-Петербургъ.

Теперь вернемся къ существующему въ настоящее время способу опредѣленія положенія граней и спросимъ себя, выполняется ли при немъ условіе однозначности.

Положеніе полюса опредѣляется въ настоящее время сферическими разстояніями (считаемыми по дугамъ большого круга) его отъ двухъ уже опредѣленныхъ полюсовъ. Пусть (фиг. 2) напр. извѣстно положеніе полюсовъ  $A$  и  $B$  и новый полюсъ  $C$  опредѣляется тѣмъ условіемъ, что съ полюсами  $A$  и  $B$  онъ образуетъ углы  $a$  и  $b$ . Изъ приложеннаго чертежа ясно видно, что поставленному условію удовлетворяютъ двѣ точки  $C$  и  $C'$ ; слѣдовательно, наше опредѣленіе двузачно.

Это соображеніе ясно показываетъ, что тригонометрическія координаты, употреблявшіяся до сихъ поръ въ кристаллографіи,



Фиг. 2.

<sup>1)</sup> Формулы этой системы вычислений изложены во второмъ издѣ по аналитической кристаллографіи, глава III, и въ четвертомъ издѣ, глава II.

должны вести къ болѣе сложнымъ математическимъ операціямъ, чѣмъ тѣ, которыя употребительны напр. въ астрономіи.

И дѣйствительно, изъ дальнѣйшаго будетъ видно, насколько упрощается производство вычисленій при новой системѣ кристаллографическихъ координатъ.

Теперь обращусь къ другой сторонѣ дѣла.

Если теперешняя система кристаллографическихъ опредѣленій основана на данныхъ, приводящихъ къ болѣе сложнымъ вычислениямъ, то можетъ быть она имѣетъ за собою преимущество получения этихъ данныхъ путемъ болѣе простыхъ и удобныхъ наблюдений?

Трудъ современнаго измѣренія угловъ кристалла распадается на слѣдующія части:

а) наклейка кристалла въ такомъ положеніи, чтобы ребро пересѣченія двухъ плоскостей кристалла, между которыми измѣряется уголъ, было приблизительно параллельно оси гониометра и даже приблизительно совпадало съ этою осью.

б) юстировка, т. е. точное приведеніе этого ребра въ положеніе параллельное оси прибора; къ этому, въ гониометрахъ съ одною трубою, присоединяется еще центровка, и наконецъ

с) отсчетываніе по нониусу.

Изъ всѣхъ этихъ операций производительною является послѣдняя; кромѣ того, по сравненію съ кропотливыми и даже требующими большаго навыка двумя предыдущими операціями она составляетъ приятное, легкое и скорое завершеніе труднаго дѣла. Все это хорошо извѣстно каждому, сколько-нибудь знакомому съ предметомъ.

И это трудное дѣло приходится повторять столько разъ, сколько избирается въ кристаллѣ поясовъ для измѣренія. Большое облегченіе представляетъ тотъ случай, когда въ одномъ поясѣ расположено много граней, такъ какъ почти во столько же разъ сокращается трудъ измѣренія. Но и тутъ, къ огорченію лицъ, желающихъ производить эти измѣренія точнымъ образомъ, въ значительномъ большинствѣ случаевъ сигналы отдѣльныхъ граней болѣе или менѣе чувствительно отклоняются въ сторону.

Къ сожалѣнію, въ ученой литературѣ рѣдко встрѣчаются указанія на то, какимъ образомъ выдающиеся ученые устраняютъ это затрудненіе. По авторитетному свидѣтельству Вебскаго <sup>1)</sup>: «Man ist gewohnt, kleine Abweichungen der Reflexe aus der tautozonalen Lage zu vernachlässigen, und die Intersection des Reflexes mit dem Verticalfaden als Position *in* der Zone zu stellen». О способѣ Грота (Pogg. Ann. 144, 34) упоминается въ извѣстной статьѣ Вебскаго о гониометрѣ <sup>2)</sup>. Наконецъ о способѣ Беке упоминается въ его извѣстной работѣ о природныхъ фигурахъ вытравленія кристалловъ <sup>3)</sup>.

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. Krystallogr. 1880, 4, стр. 567.

<sup>2)</sup> тамъ же, стр. 564—568.

<sup>3)</sup> Tschermak's Mittheilungen IX, 1887, S. 5.

При предлагаемомъ новомъ способѣ кристаллографическихъ измѣреній первые два процесса отпадаютъ сами собою, и измѣрителю остается только пріятный трудъ отсчитыванія по нониусу; развѣ только одинъ разъ для гемисферы кристалла нужно произвести юстировку кристалла по одному поясу; последнее хотя и необходимо, но, какъ увидимъ дальше, полезно для упрощенія вычисленій.

На мой взглядъ именно послѣднее преимущество, т. е. возможность въ значительной степени болѣе скорого наблюденія, придаетъ предлагаемому способу особое значеніе.

### Описание универсальнаго гониометра.

§ 8. Инструментъ построенъ по типу теодолитовъ, и состоитъ существенно <sup>1)</sup> (фиг. 3) *A*) подставки, на которой при помощи массивнаго зажимнаго кронштейна укрѣплена горизонтальная зрительная труба *B*) особаго устройства, описанная дальше.

Труба эта при посредствѣ кремальерки *H* приводится въ поступательное движеніе по направленію своей оси; для этого движенія служатъ салазки *K* <sup>2)</sup>.

Оно предназначено для того, чтобы приблизить трубу къ разсматриваемому кристаллу на разстояніе яснаго зрѣнія.

*C*) горизонтальный лимбъ. Около вертикальной оси, проходящей чрезъ центръ этого лимба вращаются всѣ остальные части прибора вмѣстѣ съ двумя нониусами съ лупами.

Вращающаяся около вертикальной оси часть состоитъ изъ подставки *D*, несущей горизонтальную ось съ насаженными на нее вертикальными лимбомъ *E* (снаружи) и кругомъ для нониуса (внутри) *F*. По другую сторону оси къ ней привинченъ юстирный аппаратъ Fuess'а.

Всю эту вращающуюся около вертикальной оси часть гониометра я буду называть подвижною частью прибора.

Наконечъ *G* противобѣсъ.

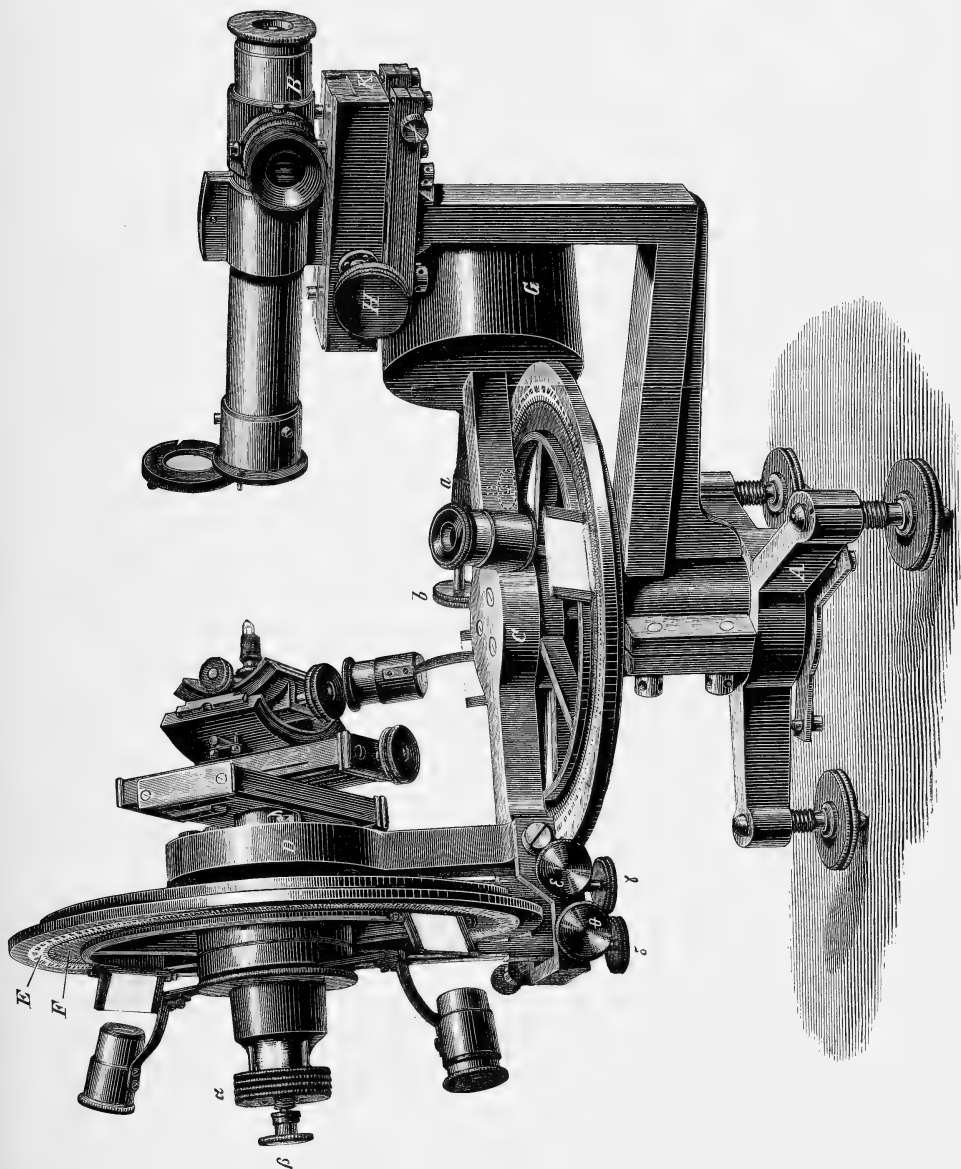
Важнѣйшею частью прибора является труба. При приподнятой подвижной линзѣ *a* труба эта одновременно служитъ коллиматоромъ и зрительною трубою (фиг. 5).



Фиг. 5.

<sup>1)</sup> Приборъ этотъ осуществленъ, благодаря матеріальному содѣйствію Имп. Спб. Минералогическаго Общества, за что я и приношу свою искреннюю признательность. Основанія конструціи и ожидавшіяся преимущества были изложены мною въ 1889 г. (Зап. Имп. Спб. Минералогическаго Общества, ч. 26, стр. 458). Фиг. 3 помѣщена въ началѣ книги.

<sup>2)</sup> На салазкахъ имѣется замѣтка, показывающая, въ какое положеніе при наблюденіи должна быть установлена труба. Въ противномъ случаѣ, благодаря несовершенной параллельности въ движеніи этой трубы, можетъ вкратись ошибка.



Фиг. 3.





Сигналъ *b* (изображенный отдѣльно на фиг. 4) отражается отъ поставленнаго подъ угломъ  $45^\circ$  къ оси трубы весьма тонкаго стеклышка *c*; расходящіеся отъ сигнала лучи, пройдя объективъ,



Фиг. 4.

принимаятъ параллельное положеніе. Параллельные же лучи, отраженные отъ грани кристалла, поставленной перпендикулярно къ оптической оси трубы, проходятъ обратно чрезъ объективъ *d* и сходятся въ главномъ фокусѣ *e*, гдѣ натянута паутинный крестъ. Здѣсь получается действительное изображеніе сигнала, разсматриваемое въ увеличенномъ видѣ чрезъ Рамеденовскій окуляръ *f*.

Для разсматриванія самаго кристалла подвижная линза опускается и, составляя съ объективомъ болѣе сильную оптическую систему, преобразуетъ трубу въ слабый микроскопъ.

Вертикальный лимбъ приспособленъ для повторныхъ отсчитываній и для удобнѣйшаго расположенія нуля. Грубое движеніе внутренняго круга съ нониусами производится съ помощью зубуренной головки  $\alpha$ ; головка  $\beta$  служитъ для закрѣпленія этого круга съ лимбомъ. Зажимныя винты  $\gamma$  и  $\delta$  закрѣпляютъ положеніе лимба и круга съ нониусами; понятно, что когда нужно вращать тотъ или другой кругъ отдѣльно, слѣдуетъ ослабить эти винты, а когда желаютъ двигать оба круга заразъ, то, ослабивъ оба эти винта, повертываютъ головку  $\beta$  до нажатія. Во всѣхъ остальныхъ случаяхъ эту головку слѣдуетъ отпустить.

Для микрометричнаго движенія этихъ круговъ служатъ винты  $\epsilon$  и  $\theta$ .

Горизонтальный лимбъ не приспособленъ для повтореній. Грубое движеніе его весьма удобно производится надавливаніемъ пальцемъ на противовѣсъ  $\zeta$ , причемъ предварительно ослабляютъ зажимной винтъ *a* <sup>1)</sup>. Микрометричное движеніе производится пружиннымъ винтомъ *b*.

§ 9. Теперь разсмотримъ процессъ производства наблюдений и ихъ записыванія. Измѣряемый кристаллъ, какъ обыкновенно, наклеивается на юстирномъ приборѣ, а передъ боковымъ отверстіемъ трубы, содержащимъ сигналъ, устанавливается зажженный волшебный фонарь. Сигналъ ярко освѣщается, и мы можемъ чрезъ окуляръ наблюдать рефлексъ даже отъ маленькихъ достаточно блестящихъ граней.

Чтобы свѣтъ отъ волшебнаго фонаря не падалъ на глазъ и вообще не производилъ въ комнатѣ вреднаго освѣщенія, отъ конца трубы волшебнаго фонаря на отверстіе трубы *B* (на которое для этой цѣли надѣвается маленькій; черный конусъ) протягивается трубка изъ чернаго колленкора.

Для того, чтобы увѣриться, что свѣтъ волшебнаго фонаря направленъ правильно т. е. такъ, чтобы привести къ возможно яркому освѣщенію сигнала, мы приставляемъ къ объективному концу трубы плоско отполированную стеклянную пластинку. При этомъ, конечно, подвижная линза

<sup>1)</sup> На рисункѣ положеніе винта показано пунктиромъ, а буквою отмѣчено только его мѣсто.

должна быть приподнята. Отраженное отъ пластинки изображеніе сигнала дастъ намъ отчетливое представленіе о правильности освѣщенія. Въ случаѣ надобности мы поворачиваемъ или передвигаемъ фонарь, пока не получимъ наиболее яркаго отраженія.

Подвижную часть гониометра приводимъ приблизительно въ такое положеніе, чтобы горизонтальная (подвижная) ось стала перпендикулярна оси трубы. Это положеніе подвижной части соответствуетъ  $90^\circ$  горизонтальнаго лимба. Затѣмъ заходимъ на нѣкоторое разстояніе по другую сторону инструмента и помѣщаемъ глазъ приблизительно на продолженіи оси трубы. Тогда, смотря въ нее черезъ объективъ, мы видимъ яркое изображеніе сигнала, а часть изображенія должна затемняться наклееннымъ кристалломъ. Кристаллъ помѣщаемъ правильно, если его середина закрываетъ центр сигнала. При такомъ положеніи кристалла мы можемъ быть увѣрены, что всякая грань, поставленная перпендикулярно къ оси трубы, дастъ отраженные параллельные лучи во внутрь трубы.

Въ противномъ случаѣ положеніе кристалла на юстирномъ аппаратѣ должно быть исправлено при помощи центрирныхъ винтовъ.

Теперь нужно произвести полное обзореніе кристалла, чтобы не упустить ни одной грани, способной дать сколько-нибудь замѣтный рефлексъ. Съ этою цѣлью, поставивъ нониусъ вертикальнаго лимба на нуль, мы передвигаемъ противовѣсъ  $G$  и заставляемъ подвижную часть совершить поворотъ больше чѣмъ на  $180^\circ$  около вертикальной оси, соблюдая при этомъ должную плавность, чтобы не пропустить рефлекса. Такой пропускъ рефлексовъ, въ случаѣ граней не очень блестящихъ, весьма возможенъ, если движеніе производится довольно быстро.

Затѣмъ поворачиваемъ вертикальный кругъ съ нониусами на нѣкоторый уголъ, чтобы снова повторить такой же оборотъ около вертикальной оси.

Мы повторяемъ тотъ же процессъ еще и еще разъ, пока постепенно вертикальный кругъ не будетъ изъ первоначальнаго положенія повернутъ на  $180^\circ$ .

Уголъ, на который мы каждый разъ его поворачиваемъ, зависитъ отъ поля зрѣнія трубы  $B$ .

Въ построенномъ мною гониометрѣ уголъ этотъ соответствуетъ повороту на  $2\frac{1}{2}^\circ$ ; слѣдовательно, если каждый разъ мы повернемъ вертикальный кругъ съ нониусомъ на этотъ уголъ, то никомъ образомъ (при должномъ вниманіи) не пропустимъ проходящаго рефлекса, такъ какъ при этомъ по крайней мѣрѣ кончикъ каждаго рефлекса (въ видѣ болѣе или менѣе освѣщенной полосы сигнальнаго креста) пройдетъ въ полъ зрѣнія.

Можно употребить съ большимъ успѣхомъ и такой способъ. Сбоку на высотѣ подвижной оси подносимъ пламя свѣчи; одинъ глазъ помѣщаемъ передъ окуляромъ, а другимъ смотримъ на кристаллъ и подвергаемъ его вращеніямъ около вертикальной и горизонтальной оси, пока на желаемой грани не увидимъ отраженія пламени. Тогда, убравъ свѣчу, намъ останется только повернуть подвижную часть гониометра, и искомый рефлексъ пройдетъ черезъ поле зрѣнія трубы, а если и не пройдетъ съ перваго раза, то послѣ одного или двухъ

маленьких поворотов въ должномъ направленіи около подвижной оси. Въ случаѣ, если кристаллъ юстированъ по оси симметріи т. е. если таковая расположена параллельно подвижной горизонтальной оси, полное обобрътѣніе производится гораздо скорѣе, такъ какъ теперь надобно вращать не на полный уголъ  $180^\circ$ , а только на его часть.

Каждый разъ, какъ хотя маленькая часть изображенія сигнала пройдетъ въ полѣ зрѣнія трубы, посредствомъ грубого движенія безъ труда приводимъ центръ сигнала въ положеніе близкое къ центру паутиннаго креста; въ этомъ положеніи закрѣпляемъ винты  $d$  на  $a$ , а винтами  $e$  и  $b$  приводимъ центръ изображенія сигнала точно къ совпаденію съ центромъ креста.

Теперь остается только произвести отсчитыванія по обоимъ лимбамъ. При этомъ я принимаю за правило первымъ отсчитывать показаніе горизонтальнаго лимба (относящееся къ повороту около неподвижной вертикальной оси) и вторымъ — показаніе вертикальнаго лимба, отдѣляя эти два числа напр. точкою съ запятой.

Понятно, что всегда нужно отсчитывать по одному и тому же ноніусу <sup>1)</sup>).

Въ случаѣ присутствія эксцентриситета нужно брать показанія обоихъ ноніусовъ и тогда показанія второго изъ нихъ, для отличія, я ставлю въ скобкахъ, напр.  $98^\circ 54' 30''$  ( $278^\circ 53' 50''$ ).

Напримѣръ, запись

$$46^\circ 32' 10''; 98^\circ 54' 30''$$

показываетъ, что около вертикальной оси произведенъ поворотъ на уголъ  $46^\circ 32' 10''$ , а около подвижной горизонтальной оси — на уголъ  $98^\circ 54' 30''$ .

При вычисленіяхъ мы будемъ для гемисферы употреблять величины угловъ въ предѣлахъ  $-90^\circ 0' - 90^\circ$ ; однако, чтобы не могло произойти смѣшенія положительныхъ и отрицательныхъ угловъ, въ конструированномъ мною гониометрѣ лимбы раздѣлены на  $360^\circ$ .

Принявъ во вниманіе то обстоятельство, что числа на лимбахъ соответствуютъ направленію движенія часовой стрѣлки и что для перечисленія должны быть взяты тѣ числа, которыя показываютъ, какія вращенія должны быть произведены, чтобы отъ положенія инструмента въ моментъ наблюденія привести его въ первоначальное, мы найдемъ слѣдующія правила:

а) наблюденныя числа нужно замѣнять ихъ дополненіями (до  $180^\circ$  или до  $360^\circ$ ), или брать ихъ съ противоположнымъ знакомъ, и б) если кристаллографическая долгота имѣетъ величину въ предѣлахъ  $90^\circ - 180^\circ - 270^\circ$ , то также на противоположный нужно измѣнить и знакъ, относящійся къ кристаллографической широтѣ.

Въ таблицахъ главы V приведены разнообразныя и многочисленныя примѣры перечисленія сырыхъ наблюденій.

Въ гониометрѣ, конструированномъ мною, лимбъ непосредственно раздѣленъ на каждыя  $10'$  (каждый градусъ на 6 равныхъ частей), а въ ноніусѣ 59 дѣлений лимба раздѣлены на 60 частей, такъ что одно дѣленіе ноніуса соответствуетъ  $10''$ .

<sup>1)</sup> Съ этою цѣлью ноніусы занумерованы.

§ 10. Теперь рассмотрим тотъ случай, когда прежде полного обозрѣнія кристалла мы пожелаемъ юстировать его по определенному поясу (въ общемъ случаѣ за такой поясъ предпочтительно принять поясъ, соответствующій главной оси, или, общнѣе, поясъ, соответствующій вертикальной оси).

Для этого прильпимъ кристаллъ къ юстирному аппарату въ такомъ положеніи, чтобы ось отмѣченнаго пояса кристалла была параллельна оси вращенія этого аппарата (т. е. перпендикулярна къ пластинкѣ этого аппарата); нужно притомъ, чтобы одна изъ граней (а именно та, которая даетъ лучший рефлексъ) была параллельна одной изъ осей цилиндрическаго движенія аппарата, т. е. чтобы вращеніемъ головки винта, производящаго это движеніе, кристаллическая грань вращалась около параллельной ей прямой.

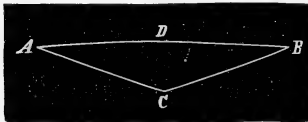
Тогда, достигши маленькими движеніями около обѣихъ осей совмѣщенія центра сигнала съ центромъ паутиннаго креста, мы постепеннымъ приведеніемъ нониуса горизонтальнаго лимба къ  $90^\circ$  и исправленіемъ положенія грани посредствомъ юстирнаго винта, придемъ къ тому, что положеніе этой грани станетъ строго параллельнымъ неподвижной оси гониометра, и, слѣдовательно, эта грань будетъ находиться въ требуемомъ поясѣ. Посредствомъ другаго юстирнаго винта мы легко приведемъ въ этотъ поясъ и другую грань.

Когда юстировка будетъ окончена, мы приводимъ въ вертикальное положеніе (т. е. въ положеніе перпендикулярное къ оси трубы) ту грань пояса, которая должна служить для насъ исходнымъ пунктомъ и для которой мы должны имѣть нуль на вертикальномъ лимбѣ. Ослабляемъ винтъ  $\gamma$  (зажавъ винтъ  $\delta$ ) и вращаемъ одинъ вертикальный лимбъ (безъ нониуса) до тѣхъ поръ, пока не совмѣстимъ его нуля съ нулемъ нониуса. При этомъ кристаллъ остается въ неподвижномъ положеніи. Точное совмѣщеніе производимъ нажатіемъ винта  $\gamma$  и вращеніемъ головки винта  $\varepsilon$ .

Особенное значеніе имѣетъ юстировка по оси симметріи и по гранямъ, не находящимся въ ея поясѣ (юстировка по косому поясу).

При этомъ мы различаемъ: а) случай двойной оси симметріи и б) случай симметріи вышшаго наименованія.

Въ первомъ случаѣ (фиг. 6) мы имѣемъ въ своемъ распоряженіи только два рефлекса, соответствующіе гранямъ  $A$  и  $B$  и мы сначала юстируемъ ихъ такъ, чтобы ихъ центры прошли чрезъ центръ паутиннаго креста.



Фиг. 6.

При этомъ, въ общемъ случаѣ, подвижная горизонтальная ось инструмента не совпадаетъ съ осью симметріи  $D$ , а приметъ нѣкоторое положеніе  $C$ .

Замѣтивъ на лимбѣ величину угла совмѣщенія рефлексовъ и ту часть лимба, которой соответствуетъ уголъ  $ACB$  меньшій чѣмъ  $180^\circ$ , мы будемъ знать, въ какомъ направленіи слѣдуетъ повернуть подвижную часть около вертикальной оси, чтобы привести подвижную ось въ положеніе параллельное оси симметріи.

Совершенно аналогично этому мы можем поступать и во второмъ случаѣ, т. е. въ случаѣ оси симметріи высшаго наименованія. Но такъ какъ въ этомъ случаѣ мы имѣемъ въ своемъ распоряженіи больше чѣмъ 2 рефлекса, то можемъ обойтись безъ отсчитываній на лимбѣ и непосредственно юстировать по тремъ изъ нихъ. Пусть только два рефлекса (фиг. 6) *A* и *B* проходятъ чрезъ центръ креста, а третій рефлексъ *C* не совпадаетъ (въ ближайшемъ положеніи) съ этимъ центромъ *D*. Тогда мы подвигаемъ подвижную ось въ томъ направленіи, при которомъ рефлексъ *C* удаляется еще больше отъ центра креста, и затѣмъ снова юстирными винтами приводимъ рефлексы *A* и *B* къ совмѣщенію съ центромъ креста.

Во всѣхъ случаяхъ для юстировки мы можемъ пользоваться наилучше образованными гранями кристалла, а это придаетъ всему процессу особенную цѣнность.

§ 11. Кромѣ приведеннаго описанія общаго способа наблюденій при посредствѣ универсальнаго гониометра, тотъ же инструментъ можно, конечно, примѣнять и какъ обыкновенный гониометръ, т. е. подвергать измѣренію только одинъ поясъ кристалла, и притомъ можно пользоваться сигналами, расположенными гдѣ-нибудь въ отдаленіи отъ прибора.

Но такъ какъ такое пользованіе универсальнымъ гониометромъ какъ гониометромъ простымъ ни въ какомъ случаѣ не можетъ дать какихъ-либо преимуществъ передъ употребленіемъ его въ качествѣ универсальнаго, то я и не стану останавливаться на описаніи предосторожностей, которыя нужно соблюдать при такихъ измѣреніяхъ.

Но я опишу вкратцѣ употребленіе этого гониометра какъ универсальнаго при пользованіи вышними сигналами (какъ въ гониометрахъ съ одною трубою). Такое употребленіе его можетъ стать полезнымъ или даже необходимымъ, если отраженіе сигнала почти или вовсе не наблюдается, и если притомъ можно наблюдать отраженіе отъ яркаго вышняго сигнала.

Въ этихъ случаяхъ можно рекомендовать слѣдующій приемъ.

Прилѣпляемъ ошлифованную пластинку къ пластинкѣ юстирнаго аппарата въ параллельномъ къ ней положеніи (плашмя) и, поставивъ предварительно на нуль нониусъ горизонтальнаго лимба, приводимъ пластинку посредствомъ юстирныхъ винтовъ въ положеніе, перпендикулярное къ оси трубы. Затѣмъ поворачиваемъ подвижную часть около вертикальной оси на нѣкоторый уголъ (напр.  $20^\circ$ ) и устанавливаемъ въ отдаленіи яркій свѣтовой сигналъ съ точностью въ такомъ положеніи, чтобы отраженное изображеніе его совпадало съ центромъ паутиннаго креста.

При производствѣ полного обзрѣнія и при употребленіи пламени въ качествѣ сигнала необходимо каждый разъ поворачивать вертикальный лимбъ на уголъ, не превышающій величину поля зрѣнія трубы. Но можно сократить время, помѣстивъ подлѣ сигнала ярко освѣщенную поверхность, или же выставивъ недалеко отъ пламеннаго сигнала другое пламя, которое при измѣреніи, въ случаѣ сомнѣнія, можно убрать.

Всѣ остальные наблюденія ничѣмъ не отличаются отъ наблюденій, описанныхъ выше. Однако, при всѣхъ послѣдующихъ вычисленіяхъ отъ показаній горизонтальнаго лимба нужно вычесть величину этого угла (т. е.  $20^\circ$ ) для того, чтобы получить тѣ цифры, которыя мы получили бы, употребляя обыкновенный сигналъ.

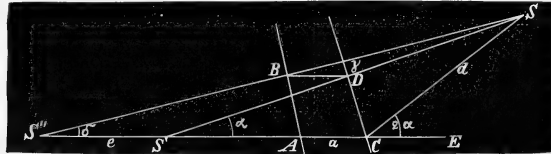
При употребленіи вишняго сигнала становится нужнымъ центрированіе кристалла, которое въ универсальномъ гониометрѣ совершается довольно просто.

Когда наблюдаемая грань приблизительно установлена, нужно опустить подвижную лупу объектива (чтобы превратить трубу въ микроскопъ) и повернуть подвижную часть гониометра на  $70^\circ$ . Тогда установленная грань видна въ профиль и при помощи центрирныхъ винтовъ теперь можно установить ее съ какою-угодно точностью по вертикальному волоску креста.

Однако, я все-таки предпочитаю обходиться безъ центрированія, пользуясь значительнымъ удаленіемъ сигнала.

Чтобы оправдать это, я позволю себѣ привести довольно простой способъ вычисленія ошибки, происходящей отъ неточной центровки.

Пусть  $S$  (фиг. 7) вишняго сигнала,  $CD$  — положеніе кристаллической грани при точной центровкѣ и  $AB$  — при неточной центровкѣ, причемъ  $AC$  — продолженіе оптической оси трубы.



Фиг. 7.

Такъ какъ грань при наблюденіи играетъ роль зеркала, то оба отраженія сигнала должны быть видны въ точкахъ  $S'$  и  $S''$ , находящихся на прямой  $AC$ , и притомъ  $S$  и  $S'$  равно удалены отъ плоскости  $CD$ ,  $S$  и  $S''$  — отъ плоскости  $AB$ .

Двойной уголъ паденія лучей, идущихъ отъ сигнала къ грани  $CD$  т. е. уголъ  $SCE$  означу чрезъ  $2\alpha$ ; эксцентриситетъ  $AC$  — чрезъ  $a$ ; разстояніе  $CS$  сигнала отъ точки, въ которой наблюдаемая грань  $CD$  пересѣкается съ прямою  $AC$  — чрезъ  $d$ , а уголъ  $S''SS'$ , составляющій искомую ошибку, происходящую отъ неточнаго центрированія — чрезъ  $\gamma$ . Временно означимъ еще уголъ  $SS'E$  чрезъ  $\delta$ , а отрезокъ  $S'S''$  чрезъ  $e$ .

Такъ какъ треугольникъ  $CSS'$  равнобедренный, то уголъ  $SS'C$  при основаніи равенъ половинѣ вишняго угла  $SCE$ , т. е.  $\alpha$ ; но тотъ же уголъ есть вишняго по отношенію къ треугольнику  $S'SS''$ . Поэтому  $\gamma + \delta = \alpha$ .

Нетрудно опредѣлить, что сторона  $SS'$  выразится  $2d \cos \alpha$ . Поэтому, прилагая известную теорему тригонометріи къ трехугольнику  $S'SS'$  найдемъ

$$\frac{e}{\sin \gamma} = \frac{2d \cos \alpha}{\sin \delta} = \frac{2d \cos \alpha}{\sin (\alpha - \gamma)}$$

Отсюда 
$$e (\sin \alpha \cos \gamma - \cos \alpha \sin \gamma) = 2d \cos \alpha \sin \gamma$$

или 
$$e (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \gamma) = 2d \operatorname{tg} \gamma, \text{ и наконецъ } \operatorname{tg} \gamma = \frac{e \operatorname{tg} \alpha}{2d - e}$$

Но такъ какъ съ одной стороны  $e = S'S'' = 2BD$ , а съ другой стороны  $BD$  немного меньше  $AC = a$ , то, замѣнивъ  $e$  чрезъ  $2a$ , мы этимъ немного увеличиваемъ значеніи  $e$ , а потому

$$\operatorname{tg} \gamma < a \operatorname{tg} \alpha / d$$

При этомъ мы пренебрегаемъ величиною  $e$  въ знаменателѣ, какъ величиною чрезвычайно малою въ сравненіи съ  $2d$ .

Въ случаѣ моихъ наблюденій ( $\alpha = 20^\circ 0'$ ,  $d = 24 \text{ м } ^1$ ), а потому

$$\operatorname{tg} \gamma < a ^2) \times 0,00001517 < a \operatorname{tg} 0^\circ 0' 3\frac{1}{5}''.$$

Такимъ образомъ, ошибка въ центрированіи на 1 мм. выражается въ величинѣ измѣряемаго угла всего около  $3''$ ; слѣдовательно, при наблюденіяхъ, точность которыхъ не превышаетъ  $\frac{1}{2}$  минуты допустима ошибка въ центрированіи почти на цѣлый сантиметръ, что во всякомъ случаѣ значительно превосходитъ ошибку, возможную при хорошей установкѣ кристалла.

Въ заключеніе считаю полезнымъ очертить для болѣе сложныхъ случаевъ кратчайшій путь изслѣдованія.

По моему мнѣнію легче и скорѣе получить рефлексъ отъ внѣшняго сигнала, чѣмъ отъ сигнала, помѣщеннаго внутри прибора. Чтобы достаточно охарактеризовать степень трудности того и другаго, замѣчу, что сигналъ въ трубѣ только немногимъ превосходитъ поле зрѣнія (полезно увеличить его размѣры); внѣшній сигналъ можетъ быть легко уловляемъ подъ гораздо большимъ угломъ зрѣнія, и притомъ двумя путями: 1) прежде чѣмъ улавливать его въ трубѣ, его можно улавливать движеніемъ глаза, находящагося подлѣ самой трубы, и 2) яркій внѣшній сигналъ можно окружать ярко освѣщенной свѣтлою поверхностью, и тогда о близости рефлекса отъ самого сигнала мы можемъ судить вообще по появленію отраженія этой поверхности.

Поэтому, въ случаѣ присутствія сложныхъ комбинацій я рекомендую сначала получить и отмѣтить рефлексы граней отъ внѣшняго сигнала, и, уже получивъ таблицу измѣреній (естественно нѣсколько менѣе точную, чѣмъ въ случаѣ употребленія внутренняго сигнала) повторить прямо по этой таблицѣ всѣ наблюденія. При этомъ часто можно будетъ замѣтить даже тѣ рефлексы, которые прошли бы, по причинѣ своей слабости, вовсе не замѣченными при простомъ полномъ обзорѣ кристалла.

Естественно, что для тѣхъ граней, которыя при этомъ вторичномъ наблюденіи вовсе не дадутъ сносныхъ рефлексовъ, придется ограничиться данными первой таблицы.

<sup>1)</sup> Столь значительное удаленіе легко достигается съ помощью зеркалъ, какъ это и примѣняется мною.

<sup>2)</sup> Выражено въ мм.

### Повѣрка универсальнаго гониометра.

§ 12. Для того, чтобы этотъ инструментъ удовлетворялъ своему назначенію, нужно, чтобы:

а) какъ сигналъ, такъ и паутинный крестъ находились въ главномъ фокусѣ объектива и притомъ пути лучей исходящихъ изъ центровъ сигнала и креста должны совпадать;

б) оптическая ось трубы была перпендикулярна къ вертикальной (неподвижной) оси гониометра;

в) горизонтальная (подвижная) ось также была бы перпендикулярна къ той же оси;

наковецъ д) нужно провѣрить дѣленія и эксцентриситетъ обоехъ лимбовъ и найти показаніе нониуса горизонтальнаго лимба, при которомъ подвижная ось гониометра приобретаетъ положеніе строго параллельное оптической оси трубы.

#### Повѣрка а.

Наводимъ трубу на весьма удаленный предметъ и вдвигаемъ окуляръ до тѣхъ поръ, пока паутинный крестъ не будетъ видѣнъ съ полною отчетливостію. Если этотъ крестъ установленъ правильно, то дѣйствительное изображеніе весьма далекаго предмета (напр. звѣзды) попадаетъ въ одну плоскость съ крестомъ и потому наблюдается въ окуляръ съ такою же отчетливостію какъ и самъ паутинный крестъ.

Кромѣ того, при движеніи глаза вовсе не замѣчается относительнаго движенія обоехъ предметовъ.

Для того, чтобы провѣрить правильность положенія сигнала, мы помѣщаемъ передъ зрительной трубой зеркало, сначала на весьма близкомъ, а затѣмъ на возможно большомъ разстояніи. Въ обоехъ случаяхъ степень отчетливости изображенія освѣщеннаго сигнала должна быть одна и та же; притомъ должно еще происходить совпаденіе въ одной плоскости этого изображенія и креста нитей, а потому не замѣчается относительнаго движенія обоехъ предметовъ.

Для того, чтобы убѣдиться въ совпаденіи пути лучей, исходящихъ отъ центровъ сигнала и креста, нужно освѣтить нѣтолько сигналъ но и крестъ, поставивъ передъ окуляромъ пламя лампы или свѣчи. Совпаденіе или несовпаденіе прямо видно при разсматриваніи чрезъ объективъ.

Совмѣщеніе обоехъ центровъ можно произвести посредствомъ крестообразно расположенныхъ винтовъ, поддерживающихъ сигналъ.

#### Повѣрка б.

Выскиваемъ точно отполированную стеклянную пластинку съ параллельными гранями.

Параллельность плоскостей превосходно провѣряется простымъ накладываніемъ пластинки на объективъ трубы. Если въ шлифовкѣ есть хоть малѣйшая неточность (напр. превосходящая  $10''$ — $20''$ ), то она даетъ себя знать раздвоеніемъ изображенія сигнала.

Прилѣпивъ стеклянную пластинку къ пластинкѣ юстирнаго аппарата въ перпендикулярномъ къ ней положеніи, мы приведемъ эту пластинку къ перпендикулярности къ оптической оси трубы. Затѣмъ повернемъ подвижную часть гониометра около вертикальной оси. Если оптическая ось трубы не перпендикулярна къ вертикальной оси гониометра, т. е. если она не находится въ горизонтальной плоскости, то при поворотѣ пластинки на  $180^\circ$  центръ изо-

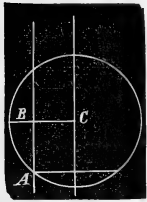


браженія сигнала не пройдетъ черезъ центръ паутиннаго креста, а пройдетъ выше или ниже. Половина ошибки исправляется особыми винтами, на которыхъ покоятся салазки *K*, а другая половина — юстирными винтами.

Для этой повѣрки можно употреблять и пластинку съ неточно параллельными гранями. Только въ этомъ случаѣ нужно (вращая около подвижной оси) привести пластинку въ такое положеніе, чтобы оба изображенія сигнала (явившіяся отъ неточной параллельности граней) прошли при вращеніи черезъ центръ паутиннаго креста. Затѣмъ оборачиваемъ около вертикальной оси на  $180^\circ$  и наблюдаемъ, проходятъ ли второй разъ тѣ же изображенія черезъ центръ креста нитей.

#### Повѣрка *c*.

Для этой повѣрки отполированная пластинка наклеивается на юстирномъ аппаратѣ плашмя, и приводится вращеніемъ около вертикальной оси и юстирными винтами въ положеніе перпендикулярное къ оптической оси трубы. Затѣмъ вращаемъ около горизонтальной оси. Въ общемъ случаѣ, центръ сигнала описываетъ при этомъ кругъ. Пусть первоначальное положеніе центра сигнала соответствуетъ точкѣ *A* (фиг. 8) и пусть *C* видимое положеніе центра круга. Разлагаемъ величину *AC* на двѣ слагающія: горизонтальную *BC* и вертикальную *AB*. Сначала постараемся уничтожить горизонтальную слагающую, исправляя половину посредствомъ вращенія около вертикальной оси прибора, а другую половину посредствомъ юстирныхъ винтовъ.



Фиг. 8.

Такимъ образомъ придемъ постепенно къ тому положенію, когда центръ круга находится на одной вертикали съ точкою *A*, и притомъ если подвижная ось, дѣйствительно, перпендикулярна къ вертикальной оси, то вертикальная слагающая устраняется сама собою.

Когда, наконецъ, осталась въ кругѣ только вертикальная слагающая, то исправленіе положенія оси производится посредствомъ особыхъ винтовъ  $\lambda$ , которые связываютъ ось съ подставкою *D*.

Наконецъ, особою повѣркою, характерною для универсальнаго гониометра, является опредѣленіе показанія нониуса горизонтальнаго лимба при томъ положеніи подвижной части прибора, при которомъ горизонтальная ось гониометра параллельна оси трубы.

Повѣрка эта производится попутно съ только-что описанною, потому что тѣмъ самымъ, что при вращеніи около горизонтальной оси центръ сигнала не сходитъ съ центра креста, ясно доказывается строгая параллельность этой оси и оси трубы; а потому нужно только замѣтить въ этомъ положеніи показаніе нониуса, которое, по устройству гониометра, можетъ быть только весьма маленькимъ угломъ. Мы можемъ или постоянно прибавлять или убавлять этотъ уголъ къ показаніямъ горизонтальнаго лимба или, что гораздо лучше, исправить это при помощи особыхъ установительныхъ винтовъ.

#### Повѣрка *d*.

Теперь остается только повѣрить дѣленія обоихъ лимбовъ.

Способъ повѣрки лимбовъ точныхъ инструментовъ хорошо извѣстенъ, и мнѣ остается только на примѣръ инструмента, которымъ я пользовался для наблюдений, наглядно представить этотъ способъ.

Прежде всего я совмѣщаю нули лимба и нониуса, и замѣчаю то дѣленіе, въ которомъ лучше всего сходятся вновь штрихи лимба и нониуса. Кромѣ того я замѣчаю еще показаніе другого нониуса, изъ котораго легко выводится ошибка эксцентриситета.

Затѣмъ замѣченный штрихъ нониуса я привожу въ совпаденіе съ нулемъ лимба и снова повторяю ту же операцію, пока не пройду всего круга. Такимъ образомъ опредѣляется съ точностью значеніе дѣлений лимба въ разныхъ его частяхъ.

Соответственныя наблюденія я сопоставляю въ двухъ нижеслѣдующихъ таблицахъ:

### I. Повѣрочная таблица для горизонтальнаго лимба.

Отсчетъ лимба.	Число дѣлений лимба.	Число дѣлений нониуса.	Отсчетъ 2-го нониуса.	Ошибка эксцентриситета
0° 0' 0''	—	—	180° 0' 0''	0' 0''
9 50	59	60	189 50 10	0 5
19 40	59	60	199 40 10	0 5
29 30	59	60	209 30 10	0 5
39 20	59	60	219 20 10	0 5
49 10	59	60	229 10 10	0 5
59 0	59	60	239 0 0	0 0
68 40	58	59	248 40 10	0 5
78 30	59	60	258 30 20	0 10
0° 0' 0''	—	—	180° 0' 0''	0' 0''
350 10	59	60	170 10 0	0 0
340 20	59	60	160 20 0	0 0
330 30	59	60	150 29 50	0 5
320 40	59	60	140 40 0	0 5
311 0	58	59	130 59 50	0 0
301 0	60	61	120 59 40	0 10
290 20	58	59	110 49 40	0 10
280 30	59	60	100 29 40	0 10

Эта таблица показываетъ замѣчательное совершенство механическаго исполненія лимба <sup>1)</sup>. Изъ нея видно, что даже для самыхъ точныхъ наблюдений кристалловъ всякія поправки излишни.

<sup>1)</sup> Гониометръ исполненъ г. механикомъ Петерманомъ.

## II. Повѣрочная таблица для вертикальнаго лимба.

Отсчетъ лимба.	Число дѣленій лимба.	Число дѣленій нониуса.	Отсчетъ 2-го нониуса.	Ошибка эксцентриситета
0° 0'	—	—	179° 59' 40''	0' 10''
9 50	59	60	189 49 20	0 20
20 0	61	62	199 59 10	0 25
30 10	59	60	210 8 50	0 35
40 20	59	60	220 18 50	0 35
50 30	59	60	230 28 30	0 45
60 40	59	60	240 38 30	0 45
70 50	59	60	250 48 20	0 50
81 0	59	60	260 58 20	0 50
91 10	59	60	271 8 30	0 45
101 20	59	60	281 18 40	0 40
111 30	59	60	291 28 40	0 40
121 40	59	60	301 38 40	0 40
131 30	61	62	311 29 0	0 30
141 40	59	60	321 38 50	0 35
151 30	61	62	331 28 50	0 35
161 40	59	60	341 39 0	0 30
171 30	61	62	351 29 30	0 45
181 30	60	61	1 29 50	0 5
Сумма . .	1071	1089		

Эта таблица показываетъ меньшее совершенство вертикальнаго лимба, какъ это вообще и бываетъ.

Изъ нея видимъ, однако, что величина эксцентриситета нигдѣ не превосходитъ 1 минуты; поэтому, поправка на эксцентриситетъ необходима только при точныхъ наблюденияхъ.

Несовершенство въ дѣленіи ничтожно: вмѣсто

$$60/59 = 1,0169 \text{ мы находимъ } 1089/1071 = 1,0168.$$

Въ заключеніе я долженъ обратить вниманіе на то, что повѣрка инструмента должна повторяться отъ времени до времени <sup>1)</sup>. Впрочемъ, при юстировкѣ (въ случаѣ хорошо образованной и блестящей плоскости) нарушеніе въ установкѣ инструмента бросается въ глаза само собою, такъ какъ при вращеніи около горизонтальной оси уже не замѣчается неподвижности рефлекса.

Такія разстройства въ инструментѣ происходятъ иногда отъ простой перестановки (а также при перевозкѣ) инструмента.

Впрочемъ, при описанной мною конструкціи гониометра маленькія разстройства исправляются очень легко и скоро, и не представляютъ никакой опасности для точныхъ наблюденій.

---

<sup>1)</sup> Наши взмѣрители кристалловъ обыкновенно ничего не говорятъ о повѣркѣ своихъ инструментовъ, даже о томъ, имѣются ли въ нихъ исправительные винты. Насколько я знаю, очень часто употребляются инструменты, даже не дающіе возможности произвести точную поправку.

### III. ОСНОВАНИЯ ГРАФИЧЕСКИХЪ РѢШЕНІЙ.

§ 13. Прежде чѣмъ приступать къ вычисленіямъ, я считаю необходимымъ наносить результаты наблюденій на бумагу, напр. въ видѣ гномонической проэкции. Такимъ образомъ достигается наглядность въ отчетѣ о сдѣланныхъ наблюденіяхъ. При этомъ сразу могутъ броситься въ глаза грубыя психическія ошибки при наблюденіяхъ, напр. отсчитываніе не по надлежащему поніусу, а по тому, который составляетъ съ нимъ уголъ  $180^\circ$ ; особенно сопоставленіе съ прежде извѣстными результатами, также нанесенными въ той же проэкции, можетъ подать поводъ къ внимательному пересмотру той или другой записи, прежде чѣмъ кристаллъ измѣнилъ свое положеніе на юстирномъ приборѣ. Мы увидимъ дальше, что тутъ же съ первыхъ шаговъ явится рядъ вопросовъ, которые скоро и удобно разрѣшаются графическимъ путемъ послѣ того, какъ результаты получили графическое выраженіе.

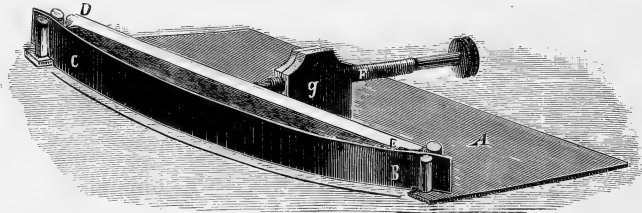
Въ тѣхъ же случаяхъ, какъ напр. въ большинствѣ оптическихъ опредѣленій, когда наблюденія не могутъ претендовать на большую точность, когда напр. вѣроятная ошибка доходить или даже превышаетъ полградуса, вычисления и совсѣмъ не понадобятся, и всѣ вопросы и задачи удовлетворительно разрѣшаются путемъ графическихъ построеній.

Тѣмъ не менѣе нужно озаботиться о томъ, чтобы достигъ въ графическихъ операціяхъ возможной точности. Это особенно важно именно въ тѣхъ случаяхъ, когда графическія рѣшенія являются не только вспомогательнымъ орудіемъ, предшествующимъ вычисленіямъ, но когда этими рѣшеніями заканчивается изученіе поставленныхъ задачъ и вопросовъ.

Мы и рассмотримъ теперь нѣкоторыя важнѣйшія условія для этого. При этомъ мы, конечно, не будемъ касаться способовъ и инструментовъ черченія, хотя, нѣтъ сомнѣнія, что главная доля въ точности графическихъ рѣшеній падаетъ именно на достоинство употребленныхъ чертежныхъ принадлежностей (особенно вывѣрка прямыхъ линеекъ и правильности прямоугольныхъ треугольниковъ), и на правильность и аккуратность въ пользованіи ими. Однако, приходится сдѣлать исключеніе для одного новаго чертежнаго прибора, примѣненіе котораго сулитъ большія выгоды какъ въ экономіи времени, такъ и въ точности и тщательности

результатовъ. Я имѣю въ виду конструированную мною круговую линейку по идеѣ, выраженной устно нашимъ молодымъ минералогомъ Ю. В. Вульфомъ.

Линейка эта (фиг. 9) предназначена для весьма пологихъ дугъ круга, то есть для дугъ весьма большого радиуса. Она состоитъ существенно изъ мѣдной доски *A* и



Фиг. 9.

вышлифованной стальной пластинки *BC*, поставленной въ слегка наклонное положеніе (для болѣе удобнаго обведенія рейсфедеромъ). Пластинка эта чрезъ посредство острыхъ выступовъ *D* и *E* стального стержня подвергается нажатію при ввинчиваніи винта *F* въ гайку *g* привинченную къ доскѣ *A*. Отъ этого надавливанія упругая пластинка изгибается по кругу съ точностью, совершенно достаточною для обыкновенныхъ чертежныхъ цѣлей <sup>1)</sup>.

Благодаря этой линейкѣ проведеніе пологихъ дугъ не только не является затрудненіемъ, но становится даже желательнымъ, такъ какъ вмѣсто разысканія центра теперь достаточно не-

<sup>1)</sup> Для лицъ, незнакомыхъ съ теоріею упругости, въ которой рассматривается этотъ случай, позволю себѣ привести слѣдующія соображенія (фиг. 10).



Фиг. 10.

Стальную пластинку въ этой линейкѣ можно рассматривать какъ балку на двухъ опорахъ, нагруженную въ точкахъ *C* и *D* двумя равными грузами *P*, одинаково отстоящими отъ точекъ опоръ; назовемъ это расстояние чрезъ *a*. Въ такомъ случаѣ, равновѣсіе системы, требующее равенства нулю всѣхъ силъ и всѣхъ моментовъ въ произвольной точкѣ балки, для точки *E*, отстоящей отъ опоры *A* на разстояніи *x* и находящейся въ части *CD* выразится (если, какъ обыкновенно, пренебрежемъ нѣкоторыми маленькими величинами)

$$\text{сумма дѣйствующихъ силъ (при изгибѣ)} = P - P = 0$$

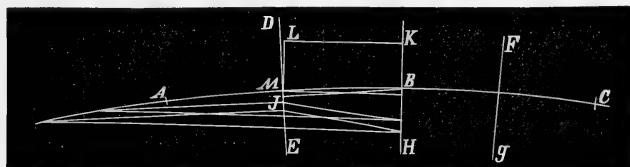
$$\text{сумма моментовъ } \quad \quad \quad = Px - P(x-a) = Pa.$$

Итакъ, для части *CD* сумма внутреннихъ силъ есть нуль, а сумма моментовъ есть постоянная величина, независимая отъ переменной координаты *x*. Постоянство изгибающаго момента влечетъ за собою и одинаковость изгиба, т. е. изгибаніе по дугѣ круга.

посредственнаго приложенія линейки; при этомъ нужно только поворачивать головку винта  $F$ , пока дуга линейки не приметъ требуемой кривизны.

Употребляемая мною линейка превосходитъ немного 2 дм., и теперь является задача провести дугу круга чрезъ три данныя точки, когда точки эти выходятъ за предѣлы линейки. Аналогическая задача для прямой линіи общеизвѣстна изъ курса элементарной геометріи и приводится къ отысканію промежуточныхъ точекъ.

Пусть чрезъ три точки  $A$ ,  $B$  и  $C$  нужно провести посредствомъ линейки дугу круга, и притомъ длина линейки не допускаетъ непосредственнаго ея приложенія ко всѣмъ тремъ точкамъ (фиг. 11).



Фиг. 11.

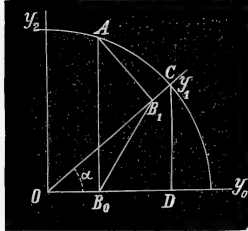
Путемъ общеизвѣстнаго простаго построенія находимъ прямыя  $DE$  и  $FG$ —геометрическія мѣста точекъ, равноудаленныхъ отъ данныхъ точекъ, взятыхъ попарно. Эти прямыя, если бы ихъ можно было продолжить до взаимнаго пересѣченія, прошли бы чрезъ центръ искомаго круга. Путемъ общеизвѣстныхъ построеній мы можемъ также найти положеніе прямой  $KH$ , проходящей чрезъ одну изъ данныхъ точекъ  $B$  и (если ее также мысленно продолжимъ) чрезъ центръ того же круга.

Опустимъ изъ точки  $B$  перпендикуляръ  $BJ$  къ прямой  $DE$  до пересѣченія въ точкѣ  $J$ ; изъ произвольной точки  $K$  возставимъ перпендикуляръ къ прямой  $KH$ , отложимъ на немъ длину  $KL=BJ$ , и изъ точки  $L$  проведемъ прямую  $LM$ , параллельную  $KH$ . Очевидно, что точка  $M$  пересѣченія этой прямой съ прямою  $DE$  будетъ также принадлежать искомому кругу.

Если и этого окажется недостаточнымъ, т. е. если даже чрезъ точки  $A$ ,  $M$  и  $B$  еще нельзя посредствомъ линейки провести дуги, то мы можемъ найти еще новый рядъ точекъ круга; или а) повторивъ аналогично то же построеніе и опредѣливъ точку круга напр., посрединѣ между  $A$  и  $M$ , или б) пользуясь замѣчательнымъ свойствомъ круга, которое я сейчасъ выведу аналитически.

Для этого я выражу уравненіе круга въ предложенной мною системѣ координатъ.

Пусть (фиг. 12)  $Oy_0$  и  $Oy_1$  двѣ оси координатъ, и пусть еще  $Oy_2$  третья ось, перпендикулярная къ оси  $Oy_0$ . Тогда, на основаніи выведенной мною формулы преобразованія координатъ<sup>1)</sup> имѣемъ:



Фиг. 12.

$$y_2 \operatorname{sn} (y_0 y_1) = y_0 \operatorname{sn} (y_2 y_1) + y_1 \operatorname{sn} (y_0 y_2)$$

или

$$y_2 \operatorname{sn} \alpha = -y_0 \operatorname{cs} \alpha + y_1 \quad \text{A)}$$

если означимъ уголъ  $y_0 y_1$  чрезъ  $\alpha$ .

Но такъ какъ оси  $y_0$  и  $y_2$  прямоугольны, то уравненіе круга, имѣющаго центръ въ началѣ координатъ, будетъ

$$y_0^2 + y_2^2 = r^2 \quad \text{B)}$$

а подставивъ сюда вмѣсто  $y_2$  величину изъ A), найдемъ

$$y_0^2 + \frac{(y_0^2 \operatorname{cs}^2 \alpha - 2y_0 y_1 \operatorname{cs} \alpha + y_1^2)}{\operatorname{sn}^2 \alpha} = r^2$$

или

$$y_0^2 - 2y_0 y_1 \operatorname{cs} \alpha + y_1^2 = r^2 \operatorname{sn}^2 \alpha \quad \text{C)}$$

Чтобы понять геометрическій смыслъ этого уравненія, возьмемъ на кругѣ произвольную точку  $A$  и опустимъ изъ нея перпендикуляры  $AB_0$  на  $Oy_0$  и  $AB_1$  на  $Oy_1$ . Теперь  $OB_0$  и  $OB_1$  координаты точки  $A$  и, слѣдовательно, соответствуютъ величинамъ  $y_0$  и  $y_1$  въ уравненіи C); отсюда же заключаемъ, что первая часть этого уравненія выражаетъ не что иное, какъ квадратъ третьей стороны трехугольника  $OB_0 B_1$ , т. е. длины  $B_0 B_1$ .

Если опустимъ изъ точки  $C$ , перпендикуляръ на прямую  $Oy_0$  до пересѣченія съ нею въ точкѣ  $D$ , нетрудно видѣть, что  $CD = r \operatorname{sn} \alpha$ , и значить также  $B_0 B_1 = CD$ .

Другими словами, если изъ произвольной точки круга  $A$  мы опустимъ перпендикуляры  $AB_0$  и  $AB_1$  на два постоянные радіуса, то отрѣзокъ  $B_0 B_1$ , стягивающій основанія обоихъ перпендикуляровъ есть величина постоянная и равна произведенію изъ величины радіуса на синусъ угла между взятыми двумя радіусами.

И обратно, если мы такъ заставимъ двигаться нѣкоторый постоянный отрѣзокъ  $B_0 B_1$ , чтобы концы его опирались на два постоянные радіуса, то геометрическое мѣсто точекъ, въ которыхъ пересѣкаются перпендикуляры къ радіусамъ въ концахъ движущагося отрѣзка (т. е. мгновенныхъ центровъ движенія), есть окружность круга<sup>2)</sup>.

Пользуясь этимъ замѣчательнымъ свойствомъ круга, имѣя два радіуса  $DE$  и  $KH$  (фиг. 11), мы можемъ получить сколько-угодно точекъ круга, если будемъ опирать на эти радіусы

<sup>1)</sup> Основныя формулы аналит. геометріи и пр. стр. 34.

<sup>2)</sup> На эту теорему можно смотрѣть какъ на обобщеніе извѣстной теоремы теоретической механики (См. напр. Schell Theorie der Bewegung und Kräfte, S. 36).



отрѣзки равные  $VI$  или  $KL$ , и въ концахъ этихъ отрѣзковъ будемъ проводить перпендикуляры къ радиусамъ до ихъ взаимнаго пересѣченія, какъ это и показано на фиг. 11.

Если бы не имѣлось подъ рукой такой линейки, то пришлось бы при проведеніи пологой дуги круга опредѣлять большое число точекъ. Задача эта въ кристаллографической литературѣ была затронута Вебекимъ <sup>1)</sup>, который на первомъ планѣ имѣлъ въ виду точность. Онъ опредѣляя положеніе точекъ путемъ вычисленія по выведеннымъ имъ формуламъ.

Но если не требуется исключительной точности, а, напротивъ того, желательны удобство и скорость, то можно употребить слѣдующій, предложенный мною <sup>2)</sup>, приближенный способъ.

Основаніемъ для него служить хорошо извѣстная математикамъ теорія соприкосновенія различныхъ порядковъ <sup>3)</sup>.

Разсмотримъ маленькую часть  $AB$  иѣкоторой кривой (фиг. 13). Весьма малый отрѣзокъ  $A'B'$  можетъ быть разсматриваемъ какъ дуга круга; ошибка, дѣлаемая при этомъ, тѣмъ незначительнѣе, чѣмъ меньше отрѣзокъ. Дуга круга, имѣющая ту же общую касательную  $CD$  и ту же величину радиуса кривизны въ общей точкѣ касанія, имѣетъ съ кривою соприкосновеніе втораго порядка.

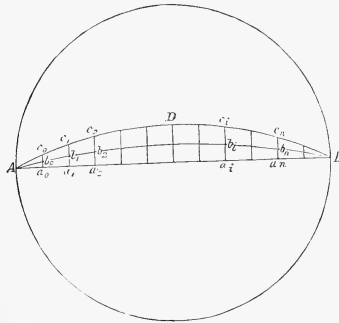
На этомъ основаны рѣшенія слѣдующихъ задачъ:

1) задача. Провести дугу весьма большого радиуса чрезъ концы  $A$  и  $B$  діаметра и чрезъ точку  $b_1$ .

Мы проводимъ сначала (фиг. 14) дугу  $ADB$  возможно большого радиуса чрезъ точки  $A$  и  $B$ , и рядъ перпендикулярровъ  $a_0 b_0, a_1 b_1, \dots, a_n b_n$  къ этому діаметру, и притомъ



Фиг. 13.



Фиг. 14.

<sup>1)</sup> Mittheil. aus den Sitzber. d. k. pr. Ak. d. Wiss. zu Berlin, 1886. Heft 1.

<sup>2)</sup> Groth's Zeitschrift für Krystallographie etc. B. XX. S. 357 ff.

<sup>3)</sup> которую мы обязаны Лагранжу.

одинъ изъ нихъ долженъ проходить чрезъ данную точку  $b_i$ . Находимъ отношеніе  $c_i a_i : b_i a_i$  и въ этомъ отношеніи уменьшаемъ длины всѣхъ перпендикуляровъ, т. е. откладываемъ точки, удовлетворяющія условию  $\frac{c_0 a_0}{b_0 a_0} = \frac{c_1 a_1}{b_1 a_1} = \dots = \frac{c_n a_n}{b_n a_n}$ , что производится весьма удобно при помощи пропорціональнаго циркуля.

Весьма пологая дуга эллипса <sup>1)</sup>, проходящая чрезъ точки  $A, b_0 \dots b_n, B$ , столь близка къ дугѣ круга, что ее мы и принимаемъ за искомое рѣшеніе.

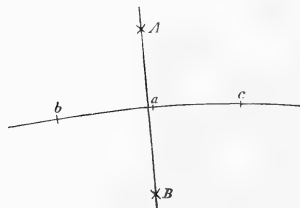
Я ее буду называть приближенною дугою круга.

2 задача. Провести къ приближенной дугѣ круга въ данной точкѣ  $a$  нормаль (фиг. 15).

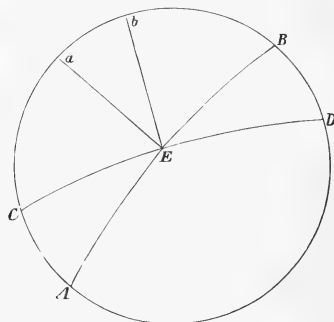
Такъ какъ приближенная дуга круга очень близка къ дѣйствительной дугѣ круга, то можно употребить слѣдующее хорошо извѣстное построеніе:

Откладываемъ на дугѣ отъ точки  $a$  равныя части  $ac$  и  $ab$ , и изъ точекъ  $b$  и  $c$ , какъ изъ центровъ, проводимъ дуги круга равнаго радіуса; наконецъ, соединяемъ прямою точки  $A$  и  $B$  ихъ пересѣченія. Прямая  $AB$  и есть искомая нормаль.

3 задача. Найти уголъ между двумя приближенными дугами круга (фиг. 16).



Фиг. 15.



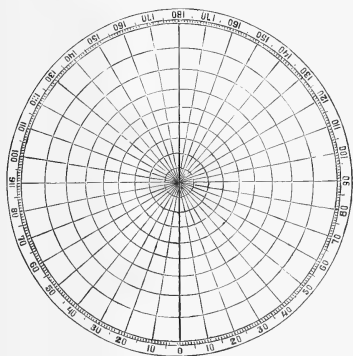
Фиг. 16.

Пусть  $AB$  и  $CD$  двѣ данныя приближенныя дуги круга и  $E$  точка ихъ пересѣченія. Чрезъ эту точку проводимъ нормали  $Ea$  и  $Eb$  (къ  $AB$  и  $CD$ ); ясно, что уголъ  $aEb$  и есть искомый.

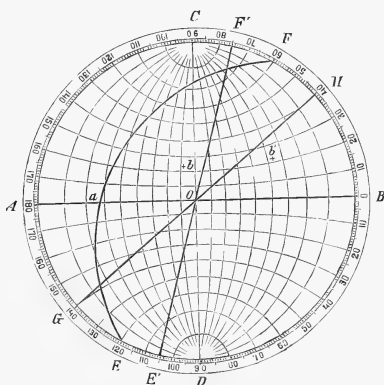
§ 14. Сдѣлавъ это отклоненіе по отношенію къ весьма пологимъ дугамъ, мы вернемся къ разсмотрѣнію условий возможной графической точности и вмѣстѣ съ тѣмъ удобства и скорости.

<sup>1)</sup> См. Третій отдѣлъ по аналитической кристаллографіи § 3.

Главнѣйшимъ условіемъ служить величина чертежей; поэтому, я употребляю проэкции, имѣющія діаметръ 20 см. Но такъ какъ нанесеніе точки по даннымъ кристаллографическимъ координатамъ связано съ довольно сложными построениями, которая въ значительной степени уменьшаютъ точность этого отложенія, то я предпочитаю употреблять для этого готовые сѣтки (фиг. 17 и 18). При тщательности можно, производя отложеніе, не сдѣлать ошибки, превышающей  $\frac{1}{2} - 1^\circ$ .



Фиг. 17.



Фиг. 18.

Другимъ важнѣйшимъ условіемъ является простота графическихъ операций вообще, и потому я позволю себѣ вкратцѣ повторить ту простѣйшую систему графическихъ рѣшеній, которая была предложена мною 6 лѣтъ тому назадъ <sup>1)</sup>.

Возможная простота рѣшеній достигается именно соединеніемъ всѣхъ видовъ проэцій на одномъ чертежѣ; тогда мы можемъ, смотря по роду задачи, пользоваться преимуществами каждой изъ проэцій.

Стереографическія проэкции представляютъ предъ другими громадное преимущество въ томъ отношеніи, что даютъ возможность легко опредѣлять углы между представленными на нихъ геометрическими образами; тѣ изъ послѣднихъ, которые выражаются дугами круга, даютъ величины угловъ непосредственно, а изъ тѣхъ, которые выражаются точками, углы выводятся при помощи весьма простаго построенія. Неудобство этихъ проэцій—невозможность непосредственно видѣть, какой символъ имѣютъ представленныя грани или ребра.

<sup>1)</sup> Четвертый этюдъ по аналитической кристаллографіи.

Проекція линейная и гномоническая, какъ разъ наоборотъ, даютъ возможность непосредственно опредѣлять символы изображаемыхъ ими образовъ, или находить эти символы съ помощью простаго построения; но зато онѣ, вообще, не даютъ непосредственно угловъ между образами, а иногда опредѣлять эти углы, пользуясь только ими, весьма сложно. Гномоническая проекція представляетъ тѣ же преимущества при изображеніи граней, что линейная при изображеніи реберъ.

Въ стереографической проекціи я отличаю два вида: а) гномостереографическую, обыкновенно употребляемую при изображеніи пучка граней; въ ней грани выражаются точками (полюсами), и б) граммастереографическую проекцію, въ которой точки выражаютъ ребра и вообще прямыя линіи; эта проекція употреблялась напр. для изображенія осей оптической упругости и т. п. Первый видъ этой проекціи относится ко второму какъ гномоническая проекція къ линейной.

Подобно тому, какъ центры дугъ круга обыкновенной, гномостереографической, проекціи представляютъ линейную проекцію соответственныхъ реберъ (или осей поясовъ), такъ центры круговъ граммастереографической проекціи представляютъ гномоническую проекцію соответственныхъ граней.

Такимъ образомъ, обыкновенная, гномостереографическая проекція находится въ особенно простой связи съ проекціей линейной, а граммастереографическая — съ проекціей гномонической.

§ 15. Извѣстно <sup>1)</sup>, что координаты реберъ пропорціональны координатамъ точекъ этихъ реберъ; другими словами, ребра представляютъ діагонали параллелепипидовъ, стороны которыхъ — кристаллографическія оси и по величинѣ равны даннымъ координатамъ. Но между координатами и символами реберъ связь весьма простая: принимая для координатъ за единицы мѣры величины основныхъ параметровъ по соответственнымъ осямъ, мы получаемъ символы. Такимъ образомъ, если даны три кристаллографическія оси съ отложенными на нихъ величинами основныхъ параметровъ, то вопросъ построения ребра, имѣющаго какой-угодно символъ, сводится къ построению діагонали параллелепипеда со сторонами, пропорціональными этимъ символамъ.

Если означимъ величины основныхъ параметровъ чрезъ  $(c_0, c_1, c_2)$ , то для построения ребра



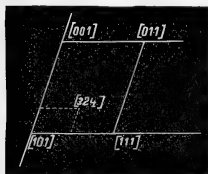
Фиг. 19.

$[r_0, r_1, r_2]$  нужно отложить на кристаллографическихъ осяхъ величины  $c_0 \cdot r_0, c_1 \cdot r_1, c_2 \cdot r_2$  и построить параллелепипидъ (фиг. 19): діагональ этого параллелепипеда и будетъ ребро  $[r_0, r_1, r_2]$ .

Если примемъ за плоскость линейной проекціи одну изъ плоскостей, параллельныхъ двумъ осямъ напр.  $x_1$  и  $x_2$  и притомъ въ разстояніи отъ этихъ осей по направленію  $x_0$  равнымъ  $c_0$ , и, кромѣ того, придадимъ символу видъ  $(1, r_1', r_2')$ , то отношеніе  $c_0 : c_1, r_1' : c_2, r_2'$  будемъ имѣть постоянный первый членъ, а потому построение ребра

<sup>1)</sup> Th. Liebisch. Geom. Krystallogr. § 4. Е. Федоровъ. Второй этюдъ по аналит. крист. гл. II, форм. 3.

въ линейной проэкции сведется къ построению діагонали параллелограмма. Напр., если въ линейной проэкции даны точки соответствующія ребрамъ  $[001]$ ,  $[101]$  и  $[011]$ , то для того, чтобы найти точку, соответствующую ребру  $[324]$ , мы замѣняемъ этотъ символъ сначала символомъ  $[\frac{3}{4} \frac{1}{2} 1]$  и, отложивъ соответственныя величины на осяхъ, строимъ параллелограмъ; вершина послѣдняго, противоположная вершинѣ  $[001]$ , и выразитъ искомое ребро (фиг. 20).



Фиг. 20.

Полнѣйшую аналогію съ этимъ мы имѣемъ и въ выраженіи символовъ граней въ гномонической проэкции. Только здѣсь вмѣсто кристаллографическихъ осей нужно принимать нормали къ плоскостямъ этихъ осей, а за плоскость гномонической проэкции — плоскость, параллельную двумъ изъ этихъ нормалей, или, что все равно, плоскость перпендикулярную къ ребру (кристаллографической оси) пересѣченія соответственныхъ граней. Такъ, если въ только-что разсмотрѣнной фигурѣ  $(001)$ ,  $(101)$  и  $(011)$  выражаютъ не ребра, а нормали къ соответственнымъ гранямъ, и притомъ плоскость проэкции перпендикулярна къ оси  $[001]$ , то только-что приведенное построение дастъ не линейную проэцію ребра  $[324]$ , а гномоническую проэцію грани, имѣющей тотъ же символъ.

Если привать во вниманіе, что стоитъ только поставить ножку циркуля въ точку, выражающую гномоническую проэцію грани или линейную проэцію ребра, провести соответствующую дугу большого круга стереографическихъ проэцій и не терять изъ виду, что углы между дугами стереографической проэкции равны угламъ между выражаемыми ими гранями или ребрами, станетъ понятно, въ какой значительной мѣрѣ упрощается графическое рѣшеніе вопросовъ при соединеніи всѣхъ видовъ проэцій на одномъ чертежѣ.

§ 16. Неудобство соединенія разныхъ проэцій состоитъ въ томъ, что для простаго построенія образовъ въ проэкции гномонической или линейной, по даннымъ символамъ, нужно за плоскость проэкции брать различныя плоскости.

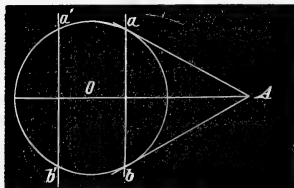
Однако, и это неудобство въ значительной мѣрѣ устраняется весьма простымъ построениемъ линейной проэкции образа по данной его гномонической проэкции, и обратно. Въ самомъ дѣлѣ, для кубооктаэдрической системы за плоскость проэкции какъ гномонической, такъ и линейной, съ одинаковымъ удобствомъ можно принять любую изъ плоскостей, перпендикулярныхъ главнымъ осямъ; для всѣхъ этихъ проэцій построение точекъ по даннымъ символамъ производится по только-что изложенному способу. На проэтивные символы можно смотрѣть какъ на символы этой системы, а потому и построение точекъ именно по этимъ символамъ такъ же просто, какъ и рѣшеніе соответствующей задачи для этой системы; рѣшеніе это въ обоихъ случаяхъ совершенно одинаково. Для кубооктаэдрической системы линейная проэція грани есть полюара гномонической проэкции той же грани, и обратно — линейная проэція ребра есть полюсь гномонической проэкции того же ребра, и притомъ кривая про-

эктивности — мнимый кругъ <sup>1)</sup>). Следовательно, то же самое мы имѣемъ и для всѣхъ системъ, когда разсматриваемъ относящаяся къ нимъ фигуры, какъ фигуры кубооктаэдрической системы.

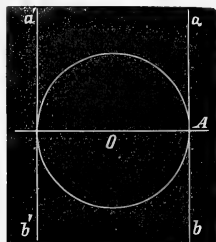
Такимъ образомъ, если точка  $A$  (фиг. 21) есть линейная проекція нѣкотораго ребра, то для того, чтобы найти гномоническую проекцію того же образа, мы проводимъ двѣ касательныя къ мнимому кругу проективности (онъ же есть кругъ, ограничивающій стереографическую проекцію), соединяемъ точки касанія  $a$  и  $b$  прямою и проводимъ параллельную ей прямую  $a'b'$  на томъ же разстояніи отъ центра, но съ другой стороны. Прямая  $a'b'$  и будетъ искомою проекціей того же ребра. Совершенно такъ же поступимъ въ томъ случаѣ если  $A$  есть гномоническая проекція грани, и нужно найти линейную проекцію той же грани.

Если бы точка находилась на самомъ мнимомъ кругѣ, то ея полярна была бы касательная къ противоположной точкѣ (фиг. 22).

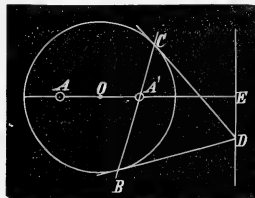
Наконецъ, если точка  $A$  находится внутри круга, то (фиг. 23) отмѣчаемъ сначала противоположную ей точку  $A'$ , проводимъ чрезъ послѣднюю произвольную хорду, а изъ концевъ



Фиг. 21.



Фиг. 22.



Фиг. 23.

хорды, касательныя къ кругу, до пересѣченія въ точкѣ  $D$ ; перпендикуляръ, опущенный изъ точки  $D$  на прямую  $AA'$ , и есть искомая полярна.

Изъ сказаннаго ясенъ способъ и обратнаго построения полюсовъ по даннымъ полярамъ.

§ 17. Для того, чтобы привести въ соответствие съ принимаемымъ мною типомъ уравнений проективности и графическія изображенія и воспользоваться простѣйшимъ способомъ опредѣленія на чертежѣ настоящихъ символовъ, за плоскость проекціи нужно избрать или плоскость, параллельную осямъ  $x_1$  и  $x_0$ , или плоскость перпендикулярную къ оси  $x_2$ . Я от-

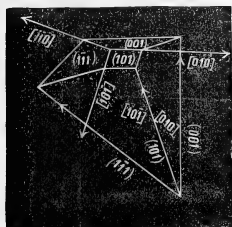
<sup>1)</sup> Первый этюдъ по аналит. кристал. § 13.

даю предпочтеніе последнему, въ виду того, что онъ дастъ простѣйшее средство для опредѣленія настоящихъ символовъ граней; а практическому кристаллографу приходится имѣть дѣло съ гранями по преимуществу.

Для того, чтобы чертежъ не заключалъ въ себѣ никакого двусмыслія, необходимо ясно отличать въ немъ противоположныя направленія или стороны реберъ и граней, т. е. отличать образы, имѣющіе символъ  $(p_0 p_1 p_2)$  отъ образовъ, имѣющихъ символъ  $(\bar{p}_0 \bar{p}_1 \bar{p}_2)$ .

Какъ извѣстно, съ этою цѣлью были предложены (Mauguin) искусственныя приемы, и то для частныхъ случаевъ, а именно для означенія граней въ линейной проэкціи. Я нахожу эти искусственныя приемы излишними и даже вредными, какъ приемы, затемняющіе чертежъ.

Этого въ самомъ общемъ видѣ можно достигнуть слѣдующимъ, болѣе естественнымъ, приемомъ: если данный образъ въ проэкціи изображается точкою (пересѣченія нѣкоторой прямой съ плоскостью проэкціи), всегда при этой точкѣ ставить символъ <sup>1)</sup>, соответствующій дѣйствительному направленію даннаго образа, предполагая его исходящимъ изъ центра проэкціи, находящагося ниже плоскости чертежа. Если бы хотѣли выразить, что въ данномъ кристаллѣ присутствуетъ только образъ, имѣющій направленіе прямо противоположное этому, то ставимъ предъ символомъ знакъ —, и этотъ знакъ выразитъ одновременно, что нужно измѣнить знаки всѣхъ индексовъ символа и принять направленіе, идущее отъ точки въ плоскости проэкціи къ центру проэкціи т. е. книзу. Если данный образъ выражается въ проэкціи прямою, то приходится на этой прямой различать двѣ противоположныя стороны, имѣющія противоположные символы. Чтобы опредѣлить, какой именно сторонѣ принадлежитъ одинъ символъ и какой — символъ противоположный, рассмотримъ слѣдующій примѣръ, ясно иллюстрированный на приложенной фигурѣ 24.



Фиг. 24.

Пусть въ проэкціи мы имѣемъ двѣ точки, которымъ принадлежатъ символы  $(101)$   $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ . Для того, чтобы составить символъ образа, выражаемаго прямою, проходящею чрезъ эти точки, поступаемъ какъ обыкновенно

$$\begin{array}{l} 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \quad \text{a)} \\ 1 \ \bar{1} \ 1 \ 1 \ \bar{1} \quad \text{b)} \end{array}$$

и получаемъ символъ  $(10\bar{1})$ .

Назовемъ символъ a) верхнимъ и символъ b) нижнимъ. Представимъ себя въ такомъ положеніи, чтобы ноги находились въ центрѣ проэкціи, а лицо было обращено къ той плоскости, которая выражается въ проэкціи прямою, имѣющею искомый символъ.

<sup>1)</sup> Если образъ выражается не символомъ, а буквою, то черта сверху выражаетъ полюсъ на верхней гемисферѣ, черта снизу — на нижней.

Въ такомъ случаѣ, прямая, къ которой относится верхній символъ, будетъ находиться вправо, а прямая, къ которой относится нижній символъ, будетъ находиться влѣво. Итакъ, въ данномъ случаѣ символъ  $(10\bar{1})$  принадлежитъ въ проэкции той сторонѣ прямой, расположенной по которой по указанному правилу мы увидимъ точку  $(101)$  вправо, а точку  $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$  влѣво. Противоположной сторонѣ будетъ принадлежать и противоположный символъ, т. е.  $(\bar{1}01)$ .

Когда нѣтъ надобности показывать отсутствіе одной изъ параллельныхъ граней какъ напр. при графическомъ рѣшеніи вопросовъ, то достаточно ограничиться лишь символомъ съ одной стороны (но непременно со стороны надлежащей, чтобы не получить невѣрнаго результата) или даже вовсе не выставлять символа, такъ какъ символы, поставленные у точекъ вполне опредѣляютъ и символы, которые надлежитъ поставить у прямыхъ въ проэкции.

Итакъ, для нанесенія наблюдений въ проэціяхъ мы руководствуемся слѣдующими правилами <sup>1)</sup>:

Проводимъ двѣ взаимно-перпендикулярныя прямыя и, принявъ точку ихъ пересѣченія за центръ, проводимъ кругъ произвольнаго радіуса (въ напечатанныхъ мною сѣткахъ кругъ этотъ имѣетъ радіусомъ 1 см.). Концы радіусовъ на положительныхъ частяхъ осей соотвѣтствуютъ проэктивнымъ символамъ  $(101)$  и  $(011)$ . Затѣмъ, по уравненіямъ проэктивности находимъ величины проэктивныхъ символовъ для граней  $(001)$ ,  $(011)$  и  $(101)$ . Прямыя, проходящія чрезъ точки  $(001)$  и  $(011)$  и чрезъ точки  $(001)$  и  $(101)$ , и будутъ осями гномонической проэкции, при помощи которыхъ, по изложеннымъ выше правиламъ, легко найти гномоническую проэцію грани съ какимъ-угодно символомъ. Ради большей наглядности я всегда строю по точкамъ  $(001)$ ,  $(011)$  и  $(101)$  параллелограмъ, и полученная четвертая точка параллелограма выразитъ грань  $(111)$ . Граммастереографическая проэція точки  $(001)$  легко получается, если поставимъ ножку циркуля въ эту точку и проведемъ соотвѣтствующую дугу; та же проэція точекъ  $(010)$  и  $(100)$  выразится діаметрами, перпендикулярными къ осямъ гномонической проэкции. Сами оси гномонической проэкции выражаютъ ребра (оси поясовъ)  $[100]$  и  $[010]$ . Построивъ по нимъ, какъ по полярамъ, соотвѣтствующіе полюсы, принявъ проведенный кругъ за мнимый кругъ проэктивности, найдемъ линейныя проэкции тѣхъ же реберъ, а отъ нихъ легко переходимъ къ гномостереографической ихъ проэкции; ребро  $[001]$  (вертикальная ось), согласно принятому типу, займетъ центръ круга и, слѣдовательно, окружность этого круга будетъ гномостереографическою проэціей того же ребра.

Такимъ образомъ получаемъ на чертежѣ всѣ данныя для рѣшенія графическимъ путемъ разныхъ задачъ, относящихся къ данному кристаллу.

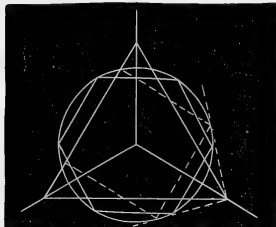
Для построения гномонической проэкции какого-нибудь ребра  $[r_1, r_2, 1]$  ищемъ грани пересѣченія этого ребра съ осями проэкции, т. е. ребрами  $[100]$  и  $[010]$  и находимъ  $[0, -\frac{1}{r_2}, 1]$  и  $[-\frac{1}{r_1}, 0, 1]$ . Проведя прямую чрезъ точки, выражающія эти грани, мы получаемъ искомую проэцію ребра.

<sup>1)</sup> Ср. приложенныя таблицы и объясненія къ нимъ.



§ 18. Для гексагональной системы построение проекции производится совершенно иначе. Для этой системы за плоскость проекции я также принимаю плоскость, перпендикулярную къ вертикальной оси (пинакюидъ), но теперь эта ось (также какъ и сама плоскость проекции) имѣетъ символъ [111].

Сначала я строю проекцію въ предположеніи, что имѣю дѣло съ кубооктаэдрической системою, а именно (фиг. 25): провожу кругъ, вписываю въ него правильный шестиугольникъ, строю квадратъ, вписанный въ кругъ такъ, чтобы пара его сторонъ была параллельна парѣ сторонъ шестиугольника. Изъ двухъ соедѣнныхъ вершинъ этого квадрата провожу прямыя, касательныя къ кругу; точка ихъ пересѣченія и будетъ одною изъ проекцій кристаллографическихъ осей этой системы. По одной такой точкѣ безъ труда находятя и обѣ другія проекціи тѣхъ же осей, которыя составятъ вершины правильного треугольника; стороны этого треугольника въ линейной проекціи выразятъ плоскости куба, а въ гномонической—ребра того же куба или главныя оси.



Фиг. 25.

Зная величину коэффициента растяженія по тригональной оси (величина эта получается попутно при вычисленіи коэффициентовъ уравненій проективности) для данного кристалла, переходимъ къ построению линейной и гномонической проекціи данного кристалла съ помощью столь простаго построения, что едва ли нужно здѣсь описывать его; или же, какъ для другихъ системъ, проекціи осей могутъ быть прямо получены съ помощью уравненій проективности.

Построение проекціи по даннымъ символамъ для этой системы (также какъ и для кубооктаэдрической, если примемъ для нея за плоскость проекціи плоскость (111) производится уже не посредствомъ параллелограммовъ, а посредствомъ параллелепипидовъ. За 1-цу для построения формъ кубооктаэдрической системы нужно принимать разстоянія отъ центра до линейной проекціи кристаллографическихъ осей; понятно, что то же относится и къ проективнымъ символамъ всякихъ кристалловъ вообще. За 1-цу для построения точекъ гномонической проекціи, въ случаѣ гексагональной системы, нужно принимать разстоянія отъ центра до гномоническихъ проекцій плоскостей (100), (010), (001), а за 1-цу для построения точекъ линейной проекціи той же системы нужно принимать разстояніе отъ центра до линейныхъ проекцій реберъ [100] [010] и [001].

Такимъ образомъ, если нужно построить проекціи образа  $(p_0 p_1 p_2)$ , мы откладываемъ на соответственныхъ осяхъ величины

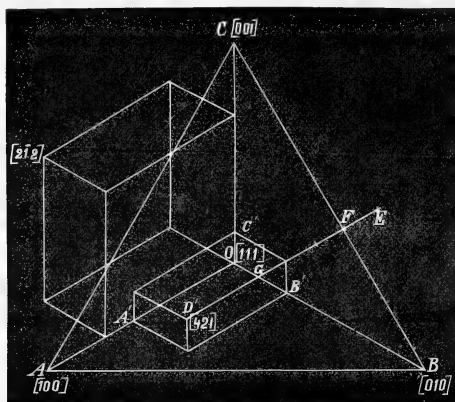
$$\frac{p_0}{p_0 + p_1 + p_2} \quad \frac{p_1}{p_0 + p_1 + p_2} \quad \frac{p_2}{p_0 + p_1 + p_2}$$

и строимъ параллелепипидъ въ проекціи; вершина этого параллелепипида противоположная

центру, и будетъ выражать искомую проекцію (гномоническую проекцію грани или линейную проекцію ребра).

Въ случаѣ  $p_0 + p_1 + p_2 = 0$  точки, выражающія проекціи, находятся въ безконечности; и притомъ для этого случая проективные символы совпадаютъ съ настоящими, какъ это прямо видно изъ уравненій проективности, и выражаютъ грани призмы или ребра, параллельныя пинаконду (111).

Для большей наглядности приводится примѣръ построения проекцій по символамъ  $[421]$  и  $[2\bar{1}2]$  (фиг. 26).



Фиг. 26.

Обратно, чтобы найти символъ, соответствующій точкѣ  $D'$  (фиг. 26), откладываемъ  $D'E = OA = 1$ . Длина эта равна суммѣ трехъ различныхъ реберъ параллелепипеда. Отъ точки  $E$  въ обратную сторону откладываемъ длину  $EF$  равную  $OG'$ , а часть  $FG$  делимъ на три равныя части; ближайшая точка дѣленія и будетъ другою вершиною параллелепипеда въ проекціи; по этимъ даннымъ нетрудно вычертить и самый параллелепипедъ, и, следовательно, опредѣлить символъ, индексы котораго пропорціональны ребрамъ параллелепипеда.

§ 19. Въ заключение скажемъ объ одной задачѣ, къ рѣшенію которой приходится нередко прибѣгать при кристаллооптическихъ изслѣдованіяхъ, а именно задачѣ преобразованія плоскости проекціи.

Съ цѣлью возможно простаго рѣшенія этой задачи я употребляю такія же сѣтки, о какихъ было упомянуто выше (фф. 17 и 18), но напечатанныя на прозрачной бумагѣ. Теперь покажу, какъ съ ихъ помощью просто разрѣшаются относящіяся сюда задачи <sup>1)</sup>.

Задача 1. Нужно такъ преобразовать плоскость проэкции, чтобы полюсъ *a* занялъ положеніе *O* центра проэкции, и найти новое положеніе полюса *b* (фиг. 18)?

На это преобразование мы можемъ смотрѣть какъ на простое вращеніе системы точекъ *a* и *b* (фиг. 18) около оси перпендикулярной къ плоскости *aO*.

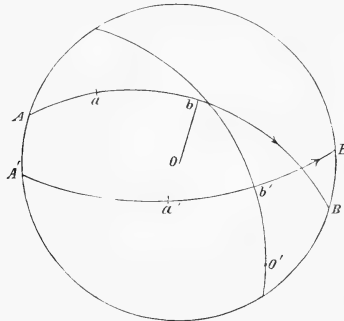
Для того, чтобы получить новое положеніе полюса *b*, равно какъ и всѣхъ другихъ полюсовъ, накладываемъ прозрачную сѣтку фиг. 18 такъ, чтобы центръ ея совмѣтился съ центромъ *O*, а діаметръ *AB* съ прямою *aO*.

Теперь мы непосредственно отсчитываемъ въ проэкции число градусовъ (до  $\frac{1}{2}^\circ$  включительно) на которое система повернута.

Зная этотъ уголъ, мы легко найдемъ новое положеніе полюса; для этого стоитъ только прослѣдить отъ точки *b* по направленію малаго круга и отложить въ этомъ направленіи найденный уголъ.

Задача 2. Данъ полюсъ *a* и проходящая чрезъ него дуга большого круга *EF*. Нужно сдѣлать такое преобразование, чтобы *a* заняла положеніе центра *O*, а дуга *EF* — положеніе діаметра *GH*? (фиг. 18).

Проводимъ прямою *aO* и находимъ, какъ при рѣшеніи предъидущей задачи, положеніе какой-нибудь точки, принадлежащей дугѣ *EaF*; при этомъ прямая *E'F'* опредѣляется по двумъ точкамъ. Теперь остается только повернуть проэцію около центра *O* до тѣхъ поръ, пока прямая *E'F'* не совпадетъ съ прямою *GH*, т. е. повернуть на уголъ *F'OH*; это особенно просто выполнить съ помощью напечатанной на прозрачной бумагѣ проэкции фиг. 17.



Фиг. 27.

<sup>1)</sup> Это изложено въ вышеупомянутой статьѣ въ Groth's Zeitschrift für Krystallographie etc. V. XX, S. 359 ff.

Въ наиболѣе общемъ видѣ задача преобразованія плоскости проэкціи выражается такъ:

Задача 3. Нужно произвести преобразование такимъ образомъ, чтобы точка  $a'$  приняла новое положеніе  $a$ , и проходящая чрезъ нея дуга  $A'B'$  — новое положеніе  $AB$  (при этомъ не слѣдуетъ упускать изъ виду направленія этихъ дугъ, выраженныхъ на фиг. 27 стрѣлками)?

Чрезъ центръ проэкціи  $O$  проводимъ къ дугѣ  $AB$  нормаль  $Ob$ ; измѣряемъ величину угла  $ab$  и откладываемъ ее на дугѣ  $A'B'$  отъ точки  $a'$  (въ должномъ направленіи); находимъ точку  $b'$ , чрезъ которую и проводимъ дугу  $O'b'$  нормальную къ дугѣ  $A'B'$ , и наконецъ на дугѣ  $O'b'$  находимъ точку  $O'$ , отложивъ  $b'O'$  равнымъ  $bO$ .

Теперь точкѣ  $O'$  соответствуетъ центръ проэкціи, а дугѣ  $b'O'$  дуга  $bO$ ; задача приведена, слѣдовательно, къ предъидущей.

#### IV. КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКІЯ ВЫЧИСЛЕНІЯ.

§ 20. Въ сочиненіи «Этюды по аналитической кристаллографіи» я старался съ возможною обстоятельностью обосновать новую систему кристаллографическихъ вычислений, применение которой къ рѣшенію различныхъ задачъ кристаллографіи показано въ 4-мъ этюдѣ.

Въ основаніи этой системы находятся подробно изученныя проэктивныя свойства кристалловъ разныхъ системъ симметріи, и, сообразно съ этимъ, вводится новое понятіе «проэктивнаго» символа, въ общемъ случаѣ ирраціональнаго, индексы котораго связаны съ индексами обыкновеннаго символа весьма простыми линейными уравненіями. Вотъ эти-то символы и даютъ возможность производить кристаллографическія вычисления по весьма простымъ формуламъ, непосредственно применимымъ только для кубооктаэдрической системы.

Само собою разумѣется, что предложенная мною система вычислений, имѣя такое отвлеченное основаніе, применима при всякаго рода наблюденіяхъ и данныхъ. Однако, при введеніи метода теодолитнаго гониометрическаго изслѣдованія кристалловъ, многіе вопросы и задачи отпадаютъ сами собою, а другіе являются вновь. И потому, отсылая желающихъ ближе познакомиться съ моею системою вычислений къ упомянутому моему сочиненію, здѣсь я отмѣчу и разберу только такія задачи, которыя существенно связаны съ новымъ методомъ.

Къ числу вовсе отпадающихъ задачъ въ особенности относится самая сложная задача опредѣленія символа грани по даннымъ угламъ, образуемымъ ею съ двумя другими гранями.

Значительно измѣняется, и притомъ упрощается, постановка задачи объ опредѣленіи элементовъ кристалла на основаніи непосредственныхъ наблюденій.

Но въ особенности широкое развитіе теперь получаетъ изящный методъ зональныхъ вычислений.

При этомъ я последовательно разсмотрю, какъ по даннымъ наблюденій опредѣлить сначала проэктивные символы граней, затѣмъ, какъ отъ проэктивныхъ символовъ перейти къ обыкновеннымъ символамъ и выветъ съ тѣмъ, какъ опредѣлить элементы кристалла, т. е. коэффициенты уравненій проэктивности?

Кристалл я буду представлять всегда <sup>1)</sup> ориентированнымъ по поясу [001] и притомъ, приму за начальную грань этого пояса грань (100). Этими двумя допущениями, непосредственно связанными съ употребляемыми мною уравнениями проэктивности, вполне определяются проэктивные символы всѣхъ остальныхъ граней кристалла; и потому задача опредѣленія этихъ символовъ по даннымъ наблюдению становится вполне опредѣленною.

Замѣчу пока, что направленіе <sup>2)</sup>, перпендикулярное къ грани (100), имѣетъ проэктивный символъ [100], и плоскость, перпендикулярная къ ребру [001] <sup>3)</sup>, имѣетъ проэктивный символъ (001). Въ тѣхъ частныхъ случаяхъ, когда грань эта не только возможна, но и дѣйствительно присутствуетъ въ кристаллѣ, ея рефлексъ соответствуетъ строго параллельному положенію оси взятаго пояса и оптической оси трубы, или отчету 0° горизонтальнаго лимба при произвольномъ отчетѣ вертикальнаго.

Для того, чтобы нагляднѣе показать связь обыкновенныхъ и проэктивныхъ символовъ, я позволю себѣ выписать уравненія проэктивности, выражающія эту связь. Означая, именно, индексы символа грани чрезъ  $p_0, p_1, p_2$ , а символа ребра чрезъ  $r_0, r_1, r_2$ , и притомъ прибавляя значокъ для отличія проэктивныхъ символовъ отъ обыкновенныхъ, находимъ:

а) для триклинной системы:

$$\frac{p_0'}{p_1'} = \frac{a_1 p_0 + a_2 p_1 + a_3 p_2}{a_4 p_1 + a_5 p_2} = \frac{b_2 b_3 p_0 - b_1 b_3 p_1 + (b_1 b_4 - b_2 b_3) p_2}{b_3 p_1 - b_4 p_2} \quad 1)$$

и

$$\frac{r_0'}{r_1'} = \frac{r_0}{b_4 r_0 + b_2 r_1} = \frac{a_4 r_0}{-a_2 r_0 + a_1 r_2} \quad 2)$$

$$\frac{r_1'}{r_2'} = \frac{b_3 r_0 + b_4 r_1 + b_5 r_2}{(a_2 a_5 - a_3 a_4) r_0 - a_4 a_5 r_1 + a_1 a_4 r_2}$$

и остатки

$$\frac{p_0}{p_1} = \frac{a_4 p_0' - a_3 p_1' + (a_2 a_5 - a_3 a_4) p_2'}{a_5 p_1' - a_1 a_5 p_2'} = \frac{p_0' + b_4 p_1' + b_3 p_2'}{b_2 p_1' + b_4 p_2'} \quad 3)$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{a_4 p_0' - a_3 p_1' + (a_2 a_5 - a_3 a_4) p_2'}{a_5 p_1' - a_1 a_5 p_2'} = \frac{p_0' + b_4 p_1' + b_3 p_2'}{b_5 p_2'}$$

и

$$\frac{r_0}{r_1} = \frac{b_2 b_3 r_0'}{-b_1 b_3 r_0' + b_2 r_1'} = \frac{a_4 r_0'}{a_2 r_0' + a_1 r_1'} \quad 4)$$

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{b_1 b_4 - b_2 b_3}{(b_1 b_4 - b_2 b_3) r_0' - b_4 r_1' + b_2 r_2'} = \frac{a_3 r_0' + a_5 r_1' + r_2'}{a_3 r_0' + a_5 r_1' + r_2'}$$

Этими уравненіями также вполне отчетливо выражается и связь между постоянными, для каждаго даннаго кристалла, коэффициентами  $a$  и  $b$ .

<sup>1)</sup> За исключеніемъ гексагональной системы, которую разсмотрю отдѣльно.

<sup>2)</sup> Въ общемъ случаѣ невозможное ребро кристалла.

<sup>3)</sup> Въ общемъ случаѣ ирраціональная грань.

в) для моноклинной системы:

$$\begin{aligned} \frac{p_0'}{p_1'} &= \frac{a_1 p_0 + a_3 p_2}{a_1 p_1} = \frac{b_2 b_3 p_0 - b_2 b_3 p_2}{b_3 p_1} \\ \frac{p_2'}{p_2} &= \frac{b_2 b_3 p_0 - b_2 b_3 p_2}{b_3 p_2} \end{aligned} \quad 5)$$

и

$$\begin{aligned} \frac{r_0'}{r_1'} &= \frac{r_0}{b_3 r_1} = \frac{a_1 r_0}{a_1 r_1} \\ \frac{r_2'}{r_2} &= \frac{r_0}{b_3 r_0 + b_3 r_2} = \frac{a_1 r_0}{-a_3 a_4 r_0 + a_1 a_4 r_2} \end{aligned} \quad 6)$$

и обратно

$$\begin{aligned} \frac{p_0}{p_1} &= \frac{a_1 p_0' - a_3 a_1 p_2'}{a_1 p_1'} = \frac{p_0' + b_3 p_2'}{b_3 p_1'} \\ \frac{p_2}{p_2} &= \frac{a_1 a_4 p_2'}{b_3 p_2'} \end{aligned} \quad 7)$$

и

$$\begin{aligned} \frac{r_0}{r_1} &= \frac{b_2 b_3 r_0'}{b_3 r_1'} = \frac{a_1 r_0'}{a_1 r_1'} \\ \frac{r_2}{r_2} &= \frac{b_2 b_3 r_0' + b_2 r_2'}{a_3 r_0' + r_2'} \end{aligned} \quad 8)$$

с) для ромбической системы:

$$p_0' : p_1' : p_2' = \frac{p_0}{c_0} : \frac{p_1}{c_1} : \frac{p_2}{c_2} \quad 9)$$

и

$$r_0' : r_1' : r_2' = c_0 r_0 : c_1 r_1 : c_2 r_2 \quad 10)$$

д) для тетрагональной системы:

$$p_0' : p_1' : p_2' = p_0 : p_1 : p_2 / c_2 \quad 11)$$

и

$$r_0' : r_1' : r_2' = r_0 : r_1 : c_2 r_2 \quad 12)$$

Наконец е) для гексагональной системы <sup>1)</sup>.

$$p_0' : p_1' : p_2' = p_0 - \pi : p_1 - \pi : p_2 - \pi, \quad \text{гдѣ} \quad \pi = \frac{m-1}{3m} (p_0 + p_1 + p_2) \quad 13)$$

$$r_0' : r_1' : r_2' = r_0 + \rho : r_1 + \rho : r_2 + \rho, \quad \text{гдѣ} \quad \rho = \frac{m-1}{3} (r_0 + r_1 + r_2) \quad 14)$$

<sup>1)</sup> Позволю себѣ напомнить, что и для этой системы я всегда употребляю символы Miller'а съ тѣмъ видоизмѣненіемъ (въ случаѣ присутствія шестерной оси симметріи), что два символа  $(p_0 p_1 p_2)$  и  $(-p_0 + 2p_1 + 2p_2, 2p_0 - p_1 + 2p_2, 2p_0 + 2p_1 - p_2)$  замѣняются однимъ  $\pm (p_0 p_1 p_2)$ .

Во всѣхъ этихъ уравненіяхъ величина  $m$  связана съ величиною  $x'$  двуграннаго угла главнаго ромбоэдра (точнѣе угла между нормальями) равенствомъ  $m = \sqrt{\frac{1 - \text{cs}(x')}{1 - \text{cs}^2(x')}}.$

Благодаря всѣмъ приведеннымъ уравненіямъ, мы съ большою легкостью можемъ переходить отъ обыкновенныхъ символовъ къ проэктивнымъ, и обратно, и такимъ образомъ мы являемся подготовленными къ самому общему и простому рѣшенію слѣдующей задачи:

§ 21. Данъ символъ пояса и въ немъ — символъ одной грани, а также уголъ последней съ другою гранью того же пояса; найти символъ второй грани?

Пусть символъ пояса  $r$  ( $r_0 r_1 r_2$ ), символъ грани  $p$  ( $p_0 p_1 p_2$ ), а уголъ этой грани  $p$  съ неизвѣстною гранью  $x$  ( $x_0 x_1 x_2$ ) есть  $\alpha$ .

Направление оси  $r$  мы выбираемъ такимъ, чтобы, представивъ его идущимъ отъ ногъ къ головѣ наблюдателя, направление движения отъ  $p$  къ  $x$  было обратное движению часовой стрѣлки, и притомъ уголъ  $px$  былъ бы не больше  $90^\circ$ .

Найдемъ сначала грани пересѣченія даннаго пояса съ двумя какими-нибудь простѣйшими поясами напр. [100] и [010]. Символъ искомыхъ граней пересѣченія будутъ  $(0, r_3, -r_1)$  и  $(-r_2, 0, r_0)$ . Означивъ первую грань чрезъ  $m$  ( $m_0 m_1 m_2$ ), а вторую чрезъ  $n$  ( $n_0 n_1 n_2$ ), мы напомнимъ по Miller'у равенство ангармоническихъ отношеній:

$$\frac{[px]_i}{[mx]_i} \cdot \frac{[pn]_i}{[mn]_i} = \frac{\text{sn}(px)}{\text{sn}(mx)} \cdot \frac{\text{sn}(pn)}{\text{sn}(mn)} = \frac{\cot(pn) - \cot(pm)}{\cot(px) - \cot(pm)}$$

гдѣ  $i = 0, 1$  или  $2$ .

Взявъ для простоты  $i = 2$ , мы, вмѣсто первой части этихъ равенствъ, найдемъ

$$\frac{(p_0 x_1 - p_1 x_0) r_2^2}{r_2 x_0 \cdot -p_1 r_2} = 1 - \frac{p_0 x_1}{p_1 x_0}$$

а вмѣсто последней части равенства можемъ написать

$$\frac{\cot(pn) - \cot(px) + \cot(px) - \cot(pm)}{\cot(px) - \cot(pm)} = 1 - \frac{\cot \alpha - \cot(pn)}{\cot \alpha - \cot(pm)}$$

такъ какъ уголъ  $px = \alpha$ .

Итакъ 
$$\frac{x_0}{x_1} = \frac{p_0}{p_1} \frac{[\cot \alpha - \cot(pn)]}{[\cot \alpha - \cot(pm)]}.$$

Но на основаніи извѣстныхъ формулъ

$$\cot(pn) = \frac{p_1' r_3' - p_2' r_4'}{p_0' \sqrt{r_0'^2 + r_1'^2 + r_2'^2}}$$

и

$$\cot(pn) = \frac{-p_0' r_2' + p_2' r_0'}{p_1' \sqrt{r_0'^2 + r_1'^2 + r_2'^2}}$$



Означивъ  $\sqrt{r_0'^2 + r_1'^2 + r_2'^2}$  чрезъ  $R'$ , а величины  $r_1'p_2' - r_2'p_1'$ ,  $r_2'p_0' - r_0'p_2'$  и  $r_0'p_1' - r_1'p_0'$  т. е. индексы проэктивного символа ребра пересѣченія грани  $p$  съ плоскостью, перпендикулярною къ оси пояса  $r$  чрезъ  $z_0'$ ,  $z_1'$  и  $z_2'$ , найдемъ окончательно

$$\frac{x_0}{x_1} = \frac{p_0}{p_1} \frac{\left( \cot \alpha + \frac{z_0'}{p_0' R'} \right)}{\left( \cot \alpha + \frac{z_1'}{p_1' R'} \right)}$$

Обобщая полученный результатъ для всѣхъ индексовъ, найдемъ <sup>1)</sup>

$$x_0 : x_1 : x_2 = p_0 \left( \cot \alpha + \frac{z_0'}{p_0' R'} \right) : p_1 \left( \cot \alpha + \frac{z_1'}{p_1' R'} \right) : p_2 \left( \cot \alpha + \frac{z_2'}{p_2' R'} \right) \quad 15)$$

Въ частномъ случаѣ, для кубооктаэдрической системы (когда  $p_0 = p_0'$ ,  $p_1 = p_1'$ ,  $p_2 = p_2'$ ), имѣемъ

$$x_0 : x_1 : x_2 = p_0 R \cot \alpha + z_0 : p_1 R \cot \alpha + z_1 : p_2 R \cot \alpha + z_2. \quad 15a)$$

Въ этой формулѣ  $R$  и  $\cot \alpha$  всегда беремъ со знакомъ  $+$ ; направление т. е. знакъ  $p$  не играетъ въ двучленѣ роли, такъ какъ съ измѣненіемъ знака  $p_0'$  . . . измѣняется и знакъ  $z_0'$  . . . Что же касается  $x$ , то оно измѣняетъ знакъ одновременно съ  $p$ , что и понятно.

Въ частномъ случаѣ, при  $\alpha = 90^\circ$ , находимъ

$$x_0 : x_1 : x_2 = \frac{p_0 z_0'}{p_0'} : \frac{p_1 z_1'}{p_1'} : \frac{p_2 z_2'}{p_2'} \quad 16)$$

Эта формула выражаетъ символъ грани, находящейся въ поясѣ  $r$  и перпендикулярной къ грани  $p$ .

Такъ какъ формула 15) даетъ выраженіе символа грани, образующей съ другою гранью даннаго пояса нѣкоторый уголъ  $\alpha$ , то ясно, что, смотря по величинѣ этого угла, символъ этотъ будетъ рациональнымъ или иррациональнымъ. Другими словами, формула 15) одинаково приложима какъ къ возможнымъ такъ и невозможнымъ гранямъ пояса.

Въ силу дуализма, существующаго между гранями и ребрами (осями поясовъ) мы можемъ ту же формулу разсматривать и какъ рѣшеніе слѣдующей задачи:

*Данъ символъ  $r$  грани и находящагося въ ней ребра  $p$  (оси пояса), а также уголъ  $\alpha$  послѣдняго съ другимъ ребромъ, параллельнымъ той же грани; найти символъ  $x$  втораго ребра?*

<sup>1)</sup> Эта формула была предложена мною въ началѣ 1891 года. (Зап. II. Спб. Минералогическаго Общества ч. XXVIII, стр. 476).

Нетрудно понять, что и теперь нужно взять ту сторону грани, рассматривая съ которой направление отъ  $p$  къ  $x$  было бы обратное движению часовой стрѣлки, и притомъ выбрать  $x$  такъ, чтобы уголъ  $px$  былъ не больше  $90^\circ$ .

§ 22. Покажемъ, какъ съ помощью выведенныхъ формулъ по одному наблюденію вычислить проэктивные символы. Ради простоты для примѣра возьмемъ кубооктаэдрической минераль, для котораго проэктивные символы совпадаютъ съ обыкновенными.

Взять кристаллъ борацита; его проэктировали по поясу  $\{001\}$ , какъ объяснено выше (провѣркой явилось также совпаденіе центра рефлекса отъ грани  $(001)$  съ центромъ паутичнаго креста). Ноль вертикальнаго лимба соответствуетъ грани  $(100)$ .

При начальномъ положеніи, т. е. когда нулиусы обоихъ лимбовъ поставлены на нули, мы находимъ, что грань  $(001)$  имѣетъ вертикальное положеніе и притомъ перпендикулярна къ оптической оси трубы, грань  $(100)$  также вертикальна, но уже параллельна той же оси, а грань  $(010)$  горизонтальна, и притомъ нормаль къ ней, считая снизу вверхъ, соответствуетъ символу  $[010]$ .

Вычислимъ символъ грани, давшей рефлексъ

$$+ 54^\circ 44'; \quad + 45^\circ 0'.$$

Сначала производимъ вычисленіе, соответствующее второму числу.

Принимая во вниманіе направленія <sup>1)</sup>, получаемъ для этого случая  $r = (001)$ ;  $p = [010]$ .

$$\text{Отсюда} \quad z = \begin{vmatrix} 001 \\ 010 \end{vmatrix} = \bar{1}00; \quad R = 1; \quad \cot z = 1,$$

а потому по формулѣ 45а) вычисляемъ

$$x_0 : x_1 : x_2 = \bar{1} : 1 : 0$$

Теперь перейдемъ къ вычисленію грани въ найденномъ поясѣ, для котораго, согласно изложенному выше правилу <sup>2)</sup>, нужно взять символъ  $(\bar{1}10)$ .

$$\text{Итакъ } r = [\bar{1}10] \quad p = (001)$$

$$\text{Отсюда } z = \begin{vmatrix} \bar{1}10 \\ 001 \end{vmatrix} = 110; \quad R = \sqrt{2}; \quad \text{но } R \cot z = 1 \text{ (приблизительно)}$$

На основаніи этого вычисляемъ

$$x_0 : x_1 : x_2 = 1 : 1 : 1$$

Это и есть символъ наблюденной грани.

<sup>1)</sup> Для облегченія соображеній полезно предварительно изобразить результаты графически. Мы легко увидимъ тогда, что для того, чтобы перейти отъ пояса  $[010]$  къ искомому по направленію обратному движению часовой стрѣлки, нужно помѣстить глазъ со стороны грани  $(001)$ .

<sup>2)</sup> Т. е. чтобы перейти по направленію обратному движению часовой стрѣлки отъ грани  $(001)$  къ искомой.

§ 23. Мы можем и не производить двух последовательных вычислений и замѣнить их однимъ. Не приводя простого вывода формулы, я ограничусь окончательнымъ результатомъ, а именно: если кристаллъ ориентированъ по вышеописанному приему, и кристаллографическія координаты какой-нибудь грани

$$+ A; + z$$

то символъ этой грани вычисляется по формулѣ

$$p_0 : p_1 : p_2 = \operatorname{cs} z \operatorname{tg} A : \operatorname{sn} z \operatorname{tg} A : 1 \quad (17)$$

Эта формула, смыслъ которой непосредственно очевиденъ, въ высокой степени простая и удобная, прямо даетъ искомый проективный символъ.

Чтобы получить обыкновенный символъ остается только перечислить по уравненіямъ проективности даннаго кристалла (1—12).

Въ общемъ случаѣ (для триклинной системы) находимъ

$$\frac{p_0}{p_1} = \frac{a_4 (\operatorname{cs} z - a_3 \cot A) - a_2 (\operatorname{sn} z - a_5 \cot A)}{a_1 (\operatorname{sn} z - a_5 \cot A)} \quad (17a)$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{a_1 a_4 \cot A}{a_1 a_4 \cot A}$$

Наоборотъ, если нужно отыскать координаты нѣкоторой плоскости (напр. для того, чтобы убѣдиться въ ея присутствіи или отсутствіи), мы выводимъ

$$\operatorname{cs} z : \operatorname{sn} z : \cot A = a_1 p_0 + a_2 p_1 + a_3 p_2 : a_4 p_1 + a_5 p_2 : p_2$$

Отсюда

$$\operatorname{tg} z = \frac{a_4 p_1 + a_5 p_2}{a_1 p_0 + a_2 p_1 + a_3 p_2} \quad (17b)$$

и

$$\operatorname{tg} A = \frac{a_4 p_1 + a_5 p_2}{p_2 \operatorname{sn} z}$$

§ 24. Если въ изслѣдуемомъ кристаллѣ имѣется нѣсколько граней пояса [001] и въ томъ числѣ грань (100), то мы, наклеивъ кристаллъ въ примѣрной ориентировкѣ, пробными вращеніями вводимъ одинъ изъ рефлексовъ въ полѣ зрѣнія трубы, и такъ какъ какая-нибудь избранная грань принадлежитъ поясу [001], то переставляемъ нуліусъ горизонтальнаго лимба до показанія  $270^\circ 0'$  точно, и вмѣстѣ съ тѣмъ юстируемъ винтами поддерживаемъ центръ рефлекса въ центрѣ креста; затѣмъ дѣлаемъ поправки другимъ юстирнымъ винтомъ, пока всѣ рефлексы пояса не проходятъ чрезъ центръ креста; и тогда, установивъ грань (100), мы передвигаемъ вертикальный лимбъ, пока нуліусъ не покажетъ  $0^\circ 0'$ .

Описанный приемъ весьма удобенъ въ томъ случаѣ, когда двѣ изъ лучшихъ плоскостей находятся въ полѣ [001] и притомъ одна изъ нихъ есть (100).

Перейдемъ къ случаю, когда въ этомъ поясѣ имѣются двѣ изъ лучшихъ плоскостей, но нѣтъ плоскости (100). Если элементы кристалла извѣстны, то мы знаемъ или можемъ вычислить уголъ, образуемый лучшею изъ наблюдаемыхъ плоскостей этого пояса съ отсутствующею плоскостью (100).

Напр. въ случаѣ анортита мы юстируемъ по вертикальному поясу, положимъ, по плоскости (010); а такъ какъ послѣдняя образуетъ съ плоскостью (100) уголъ  $86^{\circ}5'$ , то останется только въ опредѣленномъ направленіи перемѣстить 0 вертикальнаго лимба на этотъ уголъ, и требуемая ориентировка окончена.

Если же юстировать по вертикальному поясу нельзя или меньшей мѣрѣ неудобно (напр. нѣтъ двухъ хорошо рефлектирующихъ параллельныхъ граней), то приходится юстировать по другому поясу, но для того, чтобы производить вычисления обыкновенныхъ символовъ по проэктивнымъ уже нельзя пользоваться уравненіями принятаго мною типа; нужно замѣнить ихъ другими.

Ясно, что задача сводится къ преобразованіи кристаллографическихъ осей, и мы дадимъ здѣсь ея рѣшеніе въ самомъ общемъ видѣ, въ предположеніи, что кристаллъ ориентированъ въ поясѣ одной изъ кристаллографическихъ осей (т. е. одного изъ реберъ [100], [010] или [001]) и по одному изъ пинакоидовъ, принадлежащихъ этому поясу.

Задачу эту мы можемъ выразить такъ. Даны уравненія проэктивности для кристалла въ томъ случаѣ, если онъ ориентированъ въ поясѣ [001] и по плоскости (100) и въ предположеніи обыкновеннаго порядка индексовъ символа, т. е. 0, 1, 2. Найти уравненія проэктивности въ предположеніи, что эти индексы поставлены въ некоторомъ другомъ порядкѣ  $j, k, l$  (гдѣ  $j, k$  и  $l$  одно изъ чиселъ 0, 1, или 2).

Уравненія проэктивности теперь будутъ имѣть видъ

$$\frac{p_j'}{p_k'} = \frac{a_1' p_j + a_2' p_k + a_3' p_l}{a_1' p_k + a_3' p_l} \quad \text{и} \quad \frac{r_j'}{r_l'} = \frac{a_4' r_j}{-a_2' r_j + a_1' r_k} \quad (18)$$

Сдѣлаемъ, ради краткости, слѣдующія обозначенія:

Означимъ плоскость ')	(100)	чрезъ $X_0$	ребро [010]	чрезъ $x_1$
»	(010)	» $X_1$	» [001]	» $x_2$
»	(001)	» $X_2$	» [011]	» $r$
»	(111)	» $O$		

и также  $\cot(x_1 x_2) = c_1$ ;  $\cot(x_2 r) = c_3$ ;  $\cot(X_2 X_0) = c_2$ ;  $\cot(O X_0) = c_3$   
 $\sin(x_1 x_2) = s_1$ ;  $\sin(x_2 r) = s_3$ ;  $\cot(X_0 X_1) = c_4$

<sup>1)</sup> Вездѣ мы подразумѣваемъ условленный порядокъ индексовъ символа, т. е. порядокъ  $j, k, l$ .

Пользуясь уравнениями 18), мы безъ труда вычислимъ (т. е. выразимъ въ величинахъ искоемыхъ коэффициентовъ  $a_1, a_2, \dots$ ) величины  $c$  и  $s$  по общеизвѣстнымъ формуламъ кубооктаэдрической системы, а отсюда и обратно мы можемъ эти коэффициенты выразить въ величинахъ  $c$  и  $s$ .

Мы находимъ именно <sup>1)</sup>:

$$\begin{aligned} a_1' &= \frac{c_3}{s_3} - \frac{c_2}{s_1} - c_4 (c_1 - c_3) = \frac{c_5}{s_3} - a_3' - a_2' \\ a_2' &= c_4 (c_1 - c_3) = c_4 a_4' \\ a_3' &= c_2 / s_1 \\ a_4' &= c_1 - c_3 \\ a_5' &= -c_1 \end{aligned} \quad (19)$$

Но такъ какъ, съ другой стороны, величины  $c$  и  $s$  легко опредѣляются по первоначальнымъ уравненіямъ проэктивности съ коэффициентами  $a_1, a_2, \dots$ , то равенства 19) и представляють рѣшеніе поставленнаго вопроса въ общемъ видѣ.

§ 25. Для наглядности возьму примѣръ эпидота. Въ предположеніи обыкновеннаго порядка осей (т. е. порядка 1, 2, 3) мною выведены уравненія <sup>2)</sup>.

$$p_0' : p_1' : p_2' = \frac{a_1}{1,26454} p_0 - \frac{a_3}{0,47454} p_2 : \frac{a_4}{1,80362} p_1 : p_2 \quad (20)$$

и

$$r_0' : r_1' : r_2' = r_0 : 0,70112 r_1 : 0,47454 r_0 + 1,26454 r_2 \quad (21)$$

(Коэффициенты  $a_2$  и  $a_5$  равны нулю, потому что это минераль моноклинной с.)

Найдемъ уравненія проэктивности въ предположеніи, что кристаллъ эпидота ориентированъ по поясу [010] и по грани (001).

Порядокъ осей  $j, k, l$  будетъ теперь 3, 1, 2, и потому, переходя къ обыкновенному порядку осей, найдемъ, что

$X_0$	выражаетъ грань (001)	и $x_1$	— ребро [100]
$X_1$	»	» (100)	$x_2$ — » [010]
$X_2$	»	» (010)	$r$ — » [110]
$O$	»	» (111)	

Отсюда непосредственно вычисляемъ

$$c_1 = 0; s_1 = 1; c_2 = 0; \quad \text{значитъ} \quad a_3' = a_5' = 0$$

<sup>1)</sup> См. 4-ый этюдъ по аналитической кристаллографіи § 17.

<sup>2)</sup> тамъ же § 11.

Для вычисления  $c_3$  и  $s_3$  пользуемся уравнениями 21), а именно;

$$\begin{array}{l} \text{символь } [010] \text{ нужно замѣнить символомъ } 0; 1; 0 \\ \text{» } [1\bar{1}0] \text{ » » » } 1; -0,70112; 0,47454. \end{array}$$

Символь пояса этихъ реберъ  $(0,47454; 0; -1)$

$$\begin{aligned} \text{Отсюда } c_3 = \cot(x_2 r) &= \frac{0 \cdot 1 + 1 \cdot -0,70112 + 0 \cdot 0,47454}{\sqrt{(0,47454)_2 + 1}} = \\ &= -\frac{0,70112}{\sqrt{1 + (0,47454)_2}} = -0,633 \end{aligned}$$

и значить

$$s_3 = 0,84479$$

Аналогично этому вычисляемъ также:

$$c_4 = -0,47454 \quad \text{и} \quad c_5 = 0,26452$$

и отсюда, въ свою очередь, находимъ

$$a_4' = 0,63342; \quad a_2' = -0,30058; \quad a_1' = 0,61370$$

Итакъ, новыя уравненія проективности для эпидота будутъ

$$p_0' : p_1' : p_2' = 0,63342 p_0 : p_1 : -0,30058 p_0 + 0,61370 p_2 \quad (22)$$

и

$$r_0' : r_1' : r_2' = 0,96887 r + 0,47454 r_2 : 0,61370 r_1 : r_2 \quad (23)$$

§ 26. Въ тѣхъ случаяхъ, когда кристаллъ ограниченъ нѣсколькими поясами, играющими преобладающую роль и пересѣкающимися въ одной и той же грани, наблюдения производятся гораздо удобнѣе, если мы будемъ такъ его юстировать, чтобы его особенная грань (въ которой пересѣкаются пояса) была перпендикулярна къ подвижной оси, а одно изъ реберъ этой грани въ первоначальномъ положеніи инструмента было параллельно неподвижной оси.

Если мы придадимъ особой грани символъ  $(001)$  а избранному ребру символъ  $[100]$ , то мы можемъ сказать, что кристаллъ ориентированъ по ребровому поясу  $(001)$  и по ребру  $[100]$ . Въ этомъ случаѣ уравненія проективности имѣютъ видъ:

$$\begin{array}{l} \frac{r_0'}{r_1'} = \frac{A_1 r_0 + A_2 r_1 + A_3 r_2}{A_4 r_1 + A_5 r_2} \quad \text{и} \quad \frac{p_0'}{p_1'} = \frac{p_0}{B_1 p_0 + B_2 p_1} \\ \frac{r_1'}{r_2'} = \frac{r_2}{B_3 p_0 + B_4 p_1 + B_5 p_2} \end{array} \quad A)$$

Эти уравнения вполне аналогичны уравнениям 1) и 2), и потому коэффициенты их из наблюдений могут быть выведены аналогичным образом. Только повсюду вместо граней мы должны брать их нормали и вместо ребер перпендикулярны к ним грани.

Означим теперь ребро	[100]	через	$X_0$	и грань	(010)	через	$x_1$
»	[010]	»	$X_1$	»	(001)	»	$x_2$
»	[001]	»	$X_2$	»	(011)	»	$r$
»	[111]	»	$O$				

Нам придется определить углы  $(x_1, x_2)$ ,  $(x_2, r)$ ,  $(X_0, X_2)$ ,  $(X_0, X_1)$  и  $(O, X_1)$ . По этим данным вычислим величины  $c_1$ ,  $s_1$ ,  $c_3$ ,  $s_3$ ,  $c_2$ ,  $c_4$  и  $c_5$ , а отсюда по уравнениям 19) — и коэффициенты уравнений проэктивности.

Переход от уравнений А) к обыкновенным уравнениям проэктивности аналогичен переходу от уравнений 3) и 4) к уравнениям 1) и 2).

Также просто решается и обратный вопрос т. е. вопрос о нахождении коэффициентов  $a$  по известным величинам коэффициентов  $a'$ .

Для этого нужно только непосредственно по уравнениям с коэффициентами  $a'$  вычислить величины  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $c_4$  и  $c_5$ ; тогда коэффициенты  $a$  определяются по уравнениям 19).

Напр. для случая эндрота мы прямо получаем  $c_1 = 0$  (отсюда  $s_1 = 1$ ), а также  $c_4 = 0$ .

Для вычисления коэффициента  $c_2$  находим по уравнению 22), что

символь (100)	нужно	заменить	символом	0,63342; 0; — 0,30058
» (001)	»	»	»	0 0 1

Символь пояса этих граней 0,63342 (0; 0; 1).

$$\text{Отсюда} \quad c_2 = \cot (X_2, X_0) = \frac{-0,30058}{0,63342} = -0,47454$$

Аналогично этому вычисляем также:

$$c_3 = -0,480357 \quad \text{и} \quad c_5 = 0,77746$$

Теперь остается по формулам 19) вычислить коэффициенты  $a$ .

Перейдем к тому случаю, когда юстировка по какому-нибудь поясу не нужна или даже невозможна; бывает напр., что въ околке кристалла замечается всего 2—3 плоскости, годные для измерений, и потому достаточно только определить углы, образуемые этими плоскостями.

Пусть плоскости эти определяются координатами:

$$A_1, \alpha_1 \quad \text{и} \quad A_2, \alpha_2$$

Тогда на основаніи форм. 17) замѣчаемъ, что косинусы угловъ, образуемыхъ нормальми къ этимъ плоскостямъ съ 3-мя прямоугольными осями координатъ, будутъ пропорціональны:

$$\cos \alpha_1 : \sin \alpha_1 : \cot A_1 \quad \text{и} \quad \cos \alpha_2 : \sin \alpha_2 : \cot A_2$$

Отсюда уголъ между ними опредѣляется по формулѣ

$$\begin{aligned} \cos(n_1 n_2) &= \frac{\sin \alpha_1 \sin \alpha_2 + \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 + \cot A_1 \cot A_2}{\sqrt{1 + \cot^2 A_1} \sqrt{1 + \cot^2 A_2}} \\ &= \{ \cos(\alpha_1 - \alpha_2) + \cot A_1 \cot A_2 \} \sin A_1 \sin A_2 = \cos(\alpha_1 - \alpha_2) \sin A_1 \sin A_2 + \cos A_1 \cos A_2 \quad (24) \end{aligned}$$

Такимъ образомъ мы пришли къ извѣстной формулѣ сферической тригонометрiи.

Какъ извѣстно, простой приемъ дѣлаетъ ее удобною для логарифмированiя.

Означимъ для краткости уголъ  $\alpha_1 - \alpha_2$  чрезъ  $\alpha'$  и опредѣлимъ вспомогательный уголъ  $\beta$  такимъ образомъ:

$$\operatorname{tg} A_1 \cos \alpha' = \cot \beta$$

Въ такомъ случаѣ формула 24) принимаетъ видъ

$$\cos(n_1 n_2) = \frac{\cos A_1}{\sin \beta} \sin(A_2 + \beta) \quad (25)$$

т. е. становится удобною для логарифмированiя.

§ 27. Перейдемъ къ разсмотрѣнiю гексагональныхъ кристалловъ.

Если возможно, мы будемъ юстировать ихъ по вертикальному поясу [111] и по одной изъ плоскостей призмы 1-го рода, которой придадимъ символъ (211).

Пусть измѣренныя углы:  $+ A$ ;  $+ \alpha$ .

Вычисляемъ поясъ по второму изъ нихъ.

Примѣняя формулу 15а) мы должны теперь принять  $r = (111)$ ,  $p = [01\bar{1}]$ .

Отсюда вычисляемъ  $R = \sqrt{3} = pz = (\bar{2}11)$ , и потому символъ пояса будетъ

$$x_0 : x_1 : x_2 = -2 : \sqrt{3} \cot \alpha + 1 : -\sqrt{3} \cot \alpha + 1 \quad (26)$$

Замѣтимъ, что этотъ символъ непременно долженъ быть рациональнымъ обыкновеннымъ (а не только проэктивнымъ) символомъ пояса.

Опредѣливъ поясъ, мы на основаніи той же формулы 15а) легко вычислимъ и самую грань.

Но вмѣсто того, чтобы повторять вычисленiя два раза, мы можемъ свести обѣ формулы къ одной, и именно

$$p'_0 : p'_1 : p'_2 = \cot A \cdot \sqrt{2} + 2 \cos \alpha : \cot A \cdot \sqrt{2} - \cos \alpha + \sqrt{3} \cdot \sin \alpha : \cot A \cdot \sqrt{2} - \cos \alpha - \sqrt{3} \cdot \sin \alpha \quad (27)$$



Чтобы найти истинный символ, остается перечислить по уравнениям проэктивности данного минерала (13), т. е. по уравнениям вида

$$\begin{aligned} p_0 &= \frac{p_0' + \frac{m-1}{3}(p_0' + p_1' + p_2')}{p_1' + \frac{m-1}{3}(p_0' + p_1' + p_2')} \\ p_1 &= \frac{p_1' + \frac{m-1}{3}(p_0' + p_1' + p_2')}{p_2' + \frac{m-1}{3}(p_0' + p_1' + p_2')} \\ p_2 &= \frac{p_2' + \frac{m-1}{3}(p_0' + p_1' + p_2')}{p_0' + \frac{m-1}{3}(p_0' + p_1' + p_2')} \end{aligned}$$

а такъ какъ  $p_0' + p_1' + p_2' = 3 \cot A \sqrt{2}$ , то

$$\begin{aligned} p_0 &= \frac{m \cdot \cot A \sqrt{2} + 2csz}{m \cot A \sqrt{2} - csz + \sqrt{3} \cdot \sin \alpha} \\ p_1 &= \frac{m \cot A \sqrt{2} - csz + \sqrt{3} \cdot \sin \alpha}{m \cot A \sqrt{2} - csz - \sqrt{3} \cdot \sin \alpha} \\ p_2 &= \frac{m \cot A \sqrt{2} - csz - \sqrt{3} \cdot \sin \alpha}{m \cot A \sqrt{2} - csz + \sqrt{3} \cdot \sin \alpha} \end{aligned} \quad (28)$$

По этой формулѣ мы въ одинъ разъ опредѣляемъ обыкновенный символъ наблюдаемой грани.

Формула 27) представляетъ тотъ частный случай, когда  $m$  («коэффициентъ растяженія») равенъ 1-цѣ. Она непосредственно применима для кубооктаэдрическихъ кристалловъ, если ихъ ориентировать по поясу [111].

Ориентировать же по поясу [111] возможно во всѣхъ случаяхъ, даже если отсутствуютъ вовсе грани этого пояса, а также и сама грань (111).

Возьмемъ для примѣра обломокъ известкового шпата. Такъ какъ нормаль къ грани ромбоэдра составляетъ съ главною осью уголъ  $44^{\circ}26'40''$ , то, поставивъ на этотъ уголъ полюсъ горизонтальнаго лимба, мы будемъ юстировать кристаллъ такимъ образомъ, чтобы при полномъ оборотѣ вертикальнаго лимба центры рефлексовъ отъ 3-хъ граней ромбоэдра прошли бы послѣдовательно чрезъ центръ наутиннаго креста.

§ 28. Теперь остается только рассмотретьъ вопросъ объ опредѣленіи элементовъ кристалла изъ данныхъ непосредственнаго наблюденія т. е. рѣшить задачу вычисления коэффициентовъ уравненій проэктивности.

Сначала поставимъ вопросъ въ самомъ общемъ видѣ. Въ моемъ сочиненіи «Начала ученія о фигурахъ» было доказано, что каждый параллелепипедъ посредствомъ системы сдвиговъ и растяженій можетъ быть превращенъ во всякій другой.

Если вмѣсто параллелепипеда мы возьмемъ какую-угодно другую фигуру, то такая система растяженій и сдвиговъ превратитъ эту фигуру въ фигуру ей аналогичную и, вообще, находящуюся въ тѣсной связи съ первоначальною.

Связь эта состоитъ въ томъ, что каждой грани, каждому ребру и даже каждой точкѣ одной фигуры соответствуетъ одна опредѣленная грань, ребро или точка второй фигуры; она отчетливо выражается въ кристаллографіи тѣмъ, что мы аналогичнымъ образомъ (гранямъ или ребрамъ) придаемъ одинаковые символы (Miller'овскіе). Мы имѣемъ, словомъ, здѣсь дѣло съ тѣмъ, что въ Новой Геометріи называется проэктивною (Projectivität, homographie) и притомъ однимъ изъ видовъ проэктивности однозначной (eindeutige). Этотъ видъ проэктив-

ности въ 4-мъ этюдѣ по аналитической кристаллографіи въ примѣненіи къ кристаллографіи я назвалъ «кристаллографическою» проэктивностью, и доказалъ, что аналитически этотъ видъ проэктивности выражается простѣйшими линейными уравненіями вида

$$\begin{aligned}x_0' &= a_{11}x_0 + a_{12}x_1 + a_{13}x_2 \\x_1' &= a_{21}x_0 + a_{22}x_1 + a_{23}x_2 \\x_2' &= a_{31}x_0 + a_{32}x_1 + a_{33}x_2\end{aligned}\quad (29)$$

Въ 3-мъ этюдѣ подробно изучены частные случаи, и тамъ, между прочимъ, доказано, что преобразование координатъ составляетъ лишь одинъ изъ весьма частныхъ случаевъ этой зависимости и даны уравненія, характеризующія этотъ частный случай <sup>1)</sup>.

Въ 4-мъ этюдѣ выводы эти послужили основаніемъ для упрощенія вычисленій упрощеніе это основано на томъ, что простыя формулы вычисленій кристалловъ кубооктаэдрической системы находятся въ прямой связи съ прямоугольною системою осей. Вывода уравненія той системы сдвиговъ и растяженій, которая изъ кристалла кубооктаэдрической системы приводитъ къ нѣкоторому данному, мы опредѣляемъ положеніе грани или ребра даннаго символа по отношенію къ тѣмъ же осямъ; поэтому, замѣнивъ на основаніи этихъ уравненій проэктивности данныя символы вычисляемыми по нимъ новыми, мы легко производимъ всякія дальнѣйшія вычисленія, примѣняя къ полученнымъ «проэктивнымъ» символамъ тѣ же формулы и приемы, что и для кубооктаэдрической системы вообще.

По этой системѣ вычисленій коэффициенты уравненій проэктивности замѣняютъ прежніе элементы кристалла, и поставленная нами задача можетъ быть въ самомъ общемъ видѣ выражена такимъ образомъ:

<sup>1)</sup> И отгѣняя здѣсь, что уравненія проэктивности не есть уравненія преобразования координатъ, что послѣднія представляютъ лишь весьма частный случай, и что не этотъ случай имѣемъ мы, когда прилагаемъ уравненія проэктивности къ кристаллографіи для упрощенія вычисленій. Это необходимо имѣть въ виду лицамъ, изучающимъ и пользующимся системою вычисленій, основанною на проэктивныхъ свойствахъ кристалловъ. Въ самое послѣднее время одно изъ такихъ лицъ, Ю. В. Вульфъ, сдѣлалъ даже изъ этого предметъ спеціальнаго изслѣдованія. На мой взглядъ это составляетъ истинную заслугу его предъ русскою минералогическою лугаатурою.

Позволю себѣ также обратить вниманіе на нѣкоторыя существенныя неточности, вкравшіяся въ его статью, озаглавленную «Свойства нѣкоторыхъ псевдосимметрическихъ кристалловъ». . . (Зап. Минерал. Общ. ч. 29).

1) Къ стр. 6. Полный выводъ правильныхъ системъ точекъ сдѣланъ былъ мною не на основаніи нахождения параллелепедровъ и разложенія ихъ на стереодри, а совсѣмъ на другомъ основаніи.

2) Страницы 7—9 представляютъ одно сплошное недоразумѣніе, происходящее отъ неправильности представленія о системахъ соответственныхъ точекъ параллелепедровъ. Впрочемъ, это не ускользнуло отъ вниманія автора, напечатавшаго поправку.

3) Къ стр. 19. Главное мое возраженіе теоріи Sohncke есть то, на основаніи котораго въ самое послѣднее время этотъ ученый отказался отъ прежнихъ взглядовъ и предложилъ новую теорію связи структуры съ явленіемъ вращенія плоскости поляризации. Повидимому, мой уважаемый коллега забылъ о немъ. Что же касается моего втораго возраженія, и для устраненія недоразумѣній воспроизвожу его цѣликомъ въ концѣ этой главы.

4) На стр. 35 при выводѣ (имѣющемъ въ основаніи неопредѣленное заданіе) пропущенъ множитель равный нулю, вслѣдствіе чего весь выводъ (получившійся опредѣленнымъ) и всѣ основанія на немъ соображенія, занимающія слѣдующія страницы, теряютъ свое значеніе.



Отсюда

$$\begin{vmatrix} p_{00} & p_{01} & p_{02} & \varkappa_0 \text{cs } \alpha_0 \\ p_{10} & p_{11} & p_{12} & \varkappa_1 \text{cs } \alpha_1 \\ p_{20} & p_{21} & p_{22} & \varkappa_2 \text{cs } \alpha_2 \\ p_{30} & p_{31} & p_{32} & \varkappa_3 \text{cs } \alpha_3 \end{vmatrix} = 0 \quad \begin{vmatrix} p_{00} & p_{01} & p_{02} & \varkappa_0 \text{sn } \alpha_0 \\ p_{10} & p_{11} & p_{12} & \varkappa_1 \text{sn } \alpha_1 \\ p_{20} & p_{21} & p_{22} & \varkappa_2 \text{sn } \alpha_2 \\ p_{30} & p_{31} & p_{32} & \varkappa_3 \text{sn } \alpha_3 \end{vmatrix} = 0 \quad \text{и} \quad \begin{vmatrix} p_{00} & p_{01} & p_{02} & \varkappa_0 \cot A_0 \\ p_{10} & p_{11} & p_{12} & \varkappa_1 \cot A_1 \\ p_{20} & p_{21} & p_{22} & \varkappa_2 \cot A_2 \\ p_{30} & p_{31} & p_{32} & \varkappa_3 \cot A_3 \end{vmatrix} = 0$$

Мы можем этимъ уравнениямъ придать видъ

$$\begin{aligned} \varkappa_0 \text{cs } \alpha_0 K_0 + \varkappa_1 \text{cs } \alpha_1 K_1 + \varkappa_2 \text{cs } \alpha_2 K_2 + \varkappa_3 \text{cs } \alpha_3 K_3 &= 0 \\ \varkappa_0 \text{sn } \alpha_0 K_0 + \varkappa_1 \text{sn } \alpha_1 K_1 + \varkappa_2 \text{sn } \alpha_2 K_2 + \varkappa_3 \text{sn } \alpha_3 K_3 &= 0 \\ \varkappa_0 \cot A_0 K_0 + \varkappa_1 \cot A_1 K_1 + \varkappa_2 \cot A_2 K_2 + \varkappa_3 \cot A_3 K_3 &= 0 \end{aligned}$$

а отсюда

$$\begin{aligned} \varkappa_0 K_0 : \varkappa_1 K_1 : \varkappa_2 K_2 : \varkappa_3 K_3 &= \begin{vmatrix} \text{cs } \alpha_3 & \text{cs } \alpha_1 & \text{cs } \alpha_2 \\ \text{sn } \alpha_3 & \text{sn } \alpha_1 & \text{sn } \alpha_2 \\ \cot A_3 & \cot A_1 & \cot A_2 \end{vmatrix} : \begin{vmatrix} \text{cs } \alpha_0 & \text{cs } \alpha_3 & \text{cs } \alpha_2 \\ \text{sn } \alpha_0 & \text{sn } \alpha_3 & \text{sn } \alpha_2 \\ \cot A_0 & \cot A_3 & \cot A_2 \end{vmatrix} : \\ &: \begin{vmatrix} \text{cs } \alpha_0 & \text{cs } \alpha_1 & \text{cs } \alpha_3 \\ \text{sn } \alpha_0 & \text{sn } \alpha_1 & \text{sn } \alpha_3 \\ \cot A_0 & \cot A_1 & \cot A_3 \end{vmatrix} : - \begin{vmatrix} \text{cs } \alpha_0 & \text{cs } \alpha_1 & \text{cs } \alpha_2 \\ \text{sn } \alpha_0 & \text{sn } \alpha_1 & \text{sn } \alpha_2 \\ \cot A_0 & \cot A_1 & \cot A_2 \end{vmatrix} \end{aligned} \quad (31)$$

Если принять во вниманіе, что изъ четырехъ множителей одному мы можемъ придать произвольное значеніе напр. 1, то уравненія 31) служатъ рѣшеніемъ для всѣхъ остальныхъ; отсюда по уравненіямъ 30) вычисляются и искомые коэффициенты уравненій проэктивности.

Однако, и такіа вычисленія почти никогда не понадобятся, и въ значительномъ большинствѣ случаевъ, мы можемъ свести эту задачу къ слѣдующей, болѣе простой:

Кристаллъ ориентированъ по поясу [001] и по грани (100), и непосредственно извѣстны координаты граней (100), (010), (001) и (111). Опредѣлить коэффициенты уравненій проэктивности?

Въ этомъ случаѣ уравненія проэктивности

$$\begin{aligned} p'_0 &= \frac{a_1 p_0 + a_2 p_1 + a_3 p_2}{a_4 p_1 + a_5 p_2} \\ p'_1 &= \\ p'_2 &= \end{aligned} \quad \text{A)}$$

Плоскости (100) теперь соотвѣтствуютъ координаты  $90^\circ$ ,  $90^\circ$ : и пусть плоскости

$$\begin{aligned} (010) &\text{ соотвѣтствуетъ } 90^\circ, \alpha. \\ (001) &\text{ " } A_1, \alpha_3 \\ (111) &\text{ " } A_2, \alpha_2 \end{aligned} \quad \text{B)}$$

Теперь мы можем приравнять выражения проэктивных символовъ, выводящихся изъ А) и тѣхъ, которыя получаются изъ В), а именно:

$$\text{cs } \alpha : \text{sn } \alpha : \cot 90^\circ = a_2 : a_4 : 0 \quad \text{a)}$$

$$\text{cs } \alpha_1 : \text{sn } \alpha_1 : \cot A_1 = a_3 : a_5 : 1 \quad \text{b)}$$

$$\text{cs } \alpha_2 : \text{sn } \alpha_2 : \cot A_2 = a_1 + a_2 + a_3 : a_4 + a_5 : 1 \quad \text{c)}$$

Изъ б) выводимъ  $a_3 = \text{cs } \alpha_1 \text{ tg } A_1 \quad \text{d)}$

$$a_5 = \text{sn } \alpha_1 \text{ tg } A_1 \quad \text{e)}$$

Изъ с) выводимъ  $a_4 + a_5 = \text{sn } \alpha_2 \text{ tg } A_2$

а отсюда, принимая во вниманіе е), получаемъ

$$a_4 = \text{sn } \alpha_2 \text{ tg } A_2 - \text{sn } \alpha_1 \text{ tg } A_1 \quad \text{f)}$$

Изъ а) и f) выводимъ  $a_2 = (\text{sn } \alpha_2 \text{ tg } A_2 - \text{sn } \alpha_1 \text{ tg } A_1) \cot \alpha \quad \text{g)}$

Наконецъ, изъ с), принимая во вниманіе d), e), f) и g), получаемъ

$$a_1 = \text{cs } \alpha_2 \text{ tg } A_2 - \text{cs } \alpha_1 \text{ tg } A_1 - (\text{sn } \alpha_2 \text{ tg } A_2 - \text{sn } \alpha_1 \text{ tg } A_1) \cot \alpha.$$

Эти равенства можно еще упростить, введя вспомогательный уголъ  $\theta$  и коэффициентъ  $k$ , опредѣляемые условиями

$$\begin{aligned} \text{tg } A_1 &= k \text{ sn } (\alpha_2 + \theta) \\ \text{tg } A_2 &= k \text{ sn } (\alpha_1 + \theta) \end{aligned} \quad \text{C)}$$

Означивъ  $\text{lg tg } A_1 - \text{lg tg } A_2 = \delta$ , для опредѣленія угла  $\theta$  найдемъ условіе

$$\text{lg sn } (\alpha_2 + \theta) - \text{lg sn } (\alpha_1 + \theta) = \delta \quad 32)$$

Найдя по логарифмическимъ таблицамъ уголъ  $\theta$ , мы легко по одному изъ равенствъ С) найдемъ  $k$ . Другое изъ нихъ можетъ служить для проверки.

Подставляя значенія изъ С), найдемъ

$$\begin{aligned} \text{sn } \alpha_2 \text{ tg } A_2 - \text{sn } \alpha_1 \text{ tg } A_1 &= k \text{ sn } \theta \text{ sn } (\alpha_2 - \alpha_1) \\ \text{cs } \alpha_2 \text{ tg } A_2 - \text{cs } \alpha_1 \text{ tg } A_1 &= k \text{ cs } \theta \text{ sn } (\alpha_1 - \alpha_2) \end{aligned}$$

а отсюда выводимъ окончательно:

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{k \text{ sn } (\alpha_1 - \alpha_2) \text{ sn } (\alpha + \theta)}{\text{sn } \alpha} \\ a_2 &= -k \text{ sn } (\alpha_1 - \alpha_2) \cot \alpha \text{ sn } \theta \\ a_3 &= \text{cs } \alpha_1 \text{ tg } A_1 \\ a_4 &= -k \text{ sn } (\alpha_1 - \alpha_2) \text{ sn } \theta \\ a_5 &= \text{sn } \alpha_1 \text{ tg } A_1 \end{aligned} \quad 33)$$

Вообще же проще определить сначала проективные символы, и отъ нихъ перейти къ определению коэффициентовъ.

Обозначивъ проективный символъ грани (010) чрезъ  $p_0 p_1 0$   
 »           »           »   (001)   »    $p_{10} p_{11} p_{12}$   
 »           »           »   (111)   »    $p_{20} p_{21} p_{22}$

найдемъ

$$\begin{aligned} a_5 &= p_{11}/p_{12} \\ a_4 &= p_{21}/p_{22} - a_5 \\ a_3 &= p_{10}/p_{12} \\ a_2 &= a_4 p_0/p_1 \\ a_1 &= p_{20}/p_{22} - a_2 - a_3 \end{aligned} \quad 33a)$$

Въ случаѣ моноклинной системы  $\alpha = -90^\circ$ ,  $\alpha_1 = 0$ , и потому  $a_2 = a_5 = 0$

$$\begin{aligned} a_1 &= k \operatorname{sn} \alpha_2 \operatorname{cs} \theta \\ a_3 &= \operatorname{tg} A_1 \\ a_4 &= -k \operatorname{sn} \alpha_2 \operatorname{sn} \theta \end{aligned} \quad 34)$$

Въ этомъ случаѣ вспомогательный уголъ  $\theta$  имѣетъ простой смыслъ, а именно выражаетъ уголъ между поясами [010] и [110].

Вмѣсто формулъ 33a), такъ какъ  $p_0 = 0$ ,  $p_1 = 1$ ,  $p_{11} = 0$

$$\begin{aligned} a_4 &= p_{21}/p_{22} \\ a_3 &= p_{10}/p_{12} \\ a_1 &= p_{20}/p_{22} - a_3 \end{aligned} \quad 34a)$$

Если кристаллъ ориентированъ не по поясу [001] при обыкновенномъ порядкѣ осей, а при другомъ порядкѣ осей, то по формуламъ 33) мы выведемъ уравненія проективности нѣкотораго другого типа, которыя, въ случаѣ надобности, мы можемъ перевести въ уравненія обыкновеннаго типа по правилу, объясненному въ § 24.

Наконецъ, нужно сказать, что очень рѣдко можетъ случиться, чтобы на одномъ кристаллѣ можно было наблюдать всѣ четыре грани (100), (010), (001) и (111), и притомъ чтобы всѣ были хороши.

Положимъ напр. къ числу хорошихъ наблюденныхъ граней относятся

1) (010)   2) (001)   3) (110)   4) (101).

Тогда вычисляемъ поясъ *a*) по 1) и 3)

*b*) по 2) и 4)

*c*) по 1) и 4)

*d*) по 2) и 3)

Пересѣченіе поясовъ *a*) и *b*) даетъ грань (100), и пересѣченіе поясовъ *c*) и *d*) даетъ грань (111).

Подобнымъ же образомъ мы можемъ поступать и въ другихъ случаяхъ, и тогда придемъ къ той простѣйшей постановкѣ вопроса, которая послужила для насъ исходнымъ пунктомъ.

§ 29. Опредѣленіе элементовъ кристалла въ случаѣ гексагональной системы весьма просто.

Допустимъ, что мы ориентировали кристаллъ по полюсу [111] и по грани ( $\overline{211}$ ), и затѣмъ наблюдали положеніе грани (100), опредѣляемое координатами  $A_0$  и  $\alpha = 0^\circ$ .

Въ такомъ случаѣ на основаніи 27) находимъ

$$p_0' : p_1' : p_2' = \frac{\cot A_0 \cdot \sqrt{2} + 2}{\cot A_0 \cdot \sqrt{2} - 1} : 1 : 1 \quad \text{A)}$$

а на основаніи форм. 13) имѣемъ еще

$$p_0' : p_1' : p_2' = \frac{3m}{m-1} : -1 : -1 \quad \text{B)}$$

Отсюда заключаемъ, что

$$\frac{3m}{m-1} = \frac{3}{1 - \cot A_0 \sqrt{2}} \quad \text{и} \quad m = \frac{1}{\cot A_0 \sqrt{2}} \quad \text{35)}$$

§ 30. Въ заключеніе, резюмируемъ тѣ особенности новаго метода гониометрическихъ наблюденій, которыя составляютъ его неотъемлемыя преимущества предъ методами, употребительными до сего времени.

1) Юстировка кристалла производится только одинъ разъ для всѣхъ плоскостей одной гемисферы кристалла, и, что особенно важно, юстировка эта можетъ производиться по самому удобному для этого полюсу (напр. тому, по которому кристаллъ удлиненъ).

Центрировка вовсе не нужна, если не употреблять вѣшнихъ сигналовъ.

2) Наблюденіе всей гемисферы кристалла можетъ быть произведено въ самый короткій промежутокъ времени, что особенно важно при изслѣдованіи кристалловъ выветривающихся и вообще легко подвергающихся скорой порчѣ.

3) Каждое отдѣльное наблюденіе даетъ прямо 2 угла; по этимъ двумъ даннымъ весьма просто вычислить символъ грани (въ самомъ сложномъ случаѣ триклинной системы — по формулѣ 17а).

4) Разъ, если кристаллъ подвергся наблюденію, и составлена таблица соответственныхъ угловъ для всѣхъ его граней, всякій другой наблюдатель можетъ, повторивъ юстировку перваго наблюдателя въ самый короткій промежутокъ времени проверить всѣ числа этой таблицы.

5) Методъ представляетъ особенныя удобства при изслѣдованіи вицинальныхъ плоскостей, такъ какъ совершенно устраняетъ трудную задачу юстировки кристалла по каждой парѣ такихъ плоскостей отдѣльно.

6) Определение элементов кристалла т. е. определение коэффициентов уравнений проэктивности производится по весьма простым формулам (форм. 33) даже в случае триклинной системы.

7) Ориентировки можно в некоторых случаях и совсем не производить, напр. если нужно измерить угол между двумя гранями, то кристалл можно наклеить произвольно, и тогда вычисление производится по форм. 24), или же юстировать только по одной грани (а не по поясу), и в таком случае угол, образуемый этою гранью со всеми другими, определяется непосредственно, без всяких вычислений.

В этом случае пришлось бы пользоваться для вычислений более сложными формулами, а именно теми, которые выведены для прежнего метода.

*Примечание к стр. 70.* Ю. В. Вульфъ про второе мое возражение теории Зонке выражается так (стр. 19): „оно устраняется само собою темъ, что изъ одновременнаго присутствія правыхъ и лѣвыхъ винтовыхъ осей въ системѣ можно заключить, что эта система не оказываетъ въ результатъ никакого вліянія на положеніе плоскости поляризаціи, а не выводитъ слѣдствіе о несовмѣстности понятія о винтовыхъ осяхъ съ вращеніемъ плоскости поляризаціи“.

Для тѣхъ лицъ, которыя не знакомы съ моимъ вторымъ возраженіемъ въ оригиналѣ, я позволю воспроизвести его буквально, чтобы было видно, справедливо ли утвержденіе, что оно устраняется само собою (Замѣтка объ успѣхахъ теоретической кристаллографіи за послѣднее десятилѣтіе. Зап. Имп. Минерал. Общ. ч. 26, стр. 362—363).

Теорія и опытъ доказываютъ, что если возьмемъ большое количество одинаковыхъ двусосныхъ кристаллическихъ пластинокъ, и расположимъ ихъ одно на другое подъ угломъ въ 120°, то мы непремѣнно получимъ систему, вращающую плоскость поляризаціи; направленіе вращенія зависитъ отъ направленія, въ какомъ укладываемъ одну пластинку на другую, такъ что съ перемѣною послѣдняго въ обратную сторону, получимъ и обратное вращеніе. Но, по теоріи Зонке, то, что воспроизводится искусственно такимъ винтовымъ расположеніемъ пластинокъ является естественнымъ свойствомъ кристалловъ, построенныхъ по одному изъ тѣхъ типовъ правильныхъ системъ точекъ, въ которыхъ имѣются винтовья оси. Если это справедливо, т. е. если случай присутствія винтовой оси въ какой либо правильной системѣ точекъ можно отождествлять съ винтовымъ расположеніемъ тонкихъ двусосныхъ пластинокъ, то мы должны бы были необходимо получать вращеніе всякій разъ, когда въ правильной системѣ точекъ имѣются такіа винтовья оси и когда съ отнятіемъ этихъ осей симметрія будетъ соответствовать двусоснымъ кристалламъ. Сюда относится, между прочимъ, всѣ безъ исключенія случаи тетартоэдріи и додекаэдрической гемидіэдріи кубооктаэдрической системы, такъ какъ во всѣхъ этихъ случаяхъ имѣются, въ числѣ другихъ, правыя и лѣвыя винтовья тройныя (октаэдрическія) оси, съ отнятіемъ которыхъ симметрія правильной системы точекъ будетъ относиться къ одному изъ видовъ ромбической системы, и притомъ, такъ какъ имѣются одновременно и правыя и лѣвыя винтовья оси, то и вещество должно одновременно обладать и правымъ и лѣвымъ вращеніемъ, а это даже нельзя. Слѣдовательно, присутствіе винтовыхъ осей въ правильной системѣ точекъ вовсе нельзя сопоставлять съ винтовымъ расположеніемъ пластинокъ кристаллическаго вещества, и значитъ наблюдаемое вращеніе въ кристаллахъ нельзя приписывать присутствію винтовыхъ осей“ . . .

Вращеніе сводится, такимъ образомъ, къ энантиоморфизму (стр. 364).

И рѣшительно не могу понять, какимъ образомъ разсужденіе это устраняется само собою.

По странному самопротиворѣчію и мой многоуважаемый оппонентъ, который на стр. 19, казалось, защитилъ теорію Зонке вращенія плоскости поляризаціи, на стр. 41 находитъ, что ни эта теорія и никакая другая не даетъ понаго объясненія, и прибѣгаетъ къ диссиметріи молекулъ т. е. къ тому, къ чему и я сводилъ причину вращенія. Однако, не могу не замѣтить, что это отрицательное отношеніе къ теоріямъ имѣетъ въ своемъ основаніи существенное недоразумѣніе. Если бы Ю. В. Вульфъ представлялъ себѣ кристаллъ состоящимъ не изъ точекъ, какъ это дѣлаетъ Зонке, а какъ сложное образованіе, поднимавшееся, согласно теоріи, закону симметріи, то онъ не встрѣтилъ бы трудности ни въ объясненіи гемиморфизма кварца, ни въ другихъ приложеніяхъ теоріи.



## V. ПРИМѢРЫ ИЗМѢРЕНІЙ.

### Кубоктаэдрическая система.

#### 1. Ворацитъ <sup>1)</sup>. (Страссфуртъ).

(Линейные размѣры въ 3-хъ направленіяхъ 8 мм.)

Ориентировка и юстировка по поясу [001] и грани (100).

№	Символь.	Сырья наблюденія.		Перечисленіе.		Теоретическія величины.	
		A	$\alpha$	A	$\alpha$	A	$\alpha$
1	110	270° 0'	315° $\frac{1}{2}'$	90° 0'	44° 59 $\frac{1}{2}'$	90° 0'	45° 0'
2	100	269 58	0 1	+ [89 58]	— 0 1	+ 90 0	0 0
3	110	269 56 $\frac{1}{2}$	45 2	+ [89 56 $\frac{1}{2}$ ]	— 45 2	+ 90 0	— 45 0
4	010	269 57	90 4 $\frac{1}{2}$	— [89 57]	89 58 $\frac{1}{2}$	— 90 0	90 0
5	110	270 0	135 2 $\frac{1}{2}$	— 90 0	44 57 $\frac{1}{2}$	— 90 0	45 0
6	100	270 0	180 2	— 90 0	— 0 2	— 90 0	0 0
7	110	270 0	225 3	— 90 0	— 45 3	— 90 0	— 45 0
8	010	270 $\frac{1}{2}$	270 3	+ 89 59 $\frac{1}{2}$	89 57	+ 90 0	90 0
9	111	305 17 $\frac{1}{2}$	134 57 $\frac{1}{2}$	— 54 42 $\frac{1}{2}$	45 2 $\frac{1}{2}$	— 54 44	45 0
10	111	305 19	314 57	54 41	45 3	+ 54 44	45 0
11	001	0	—	0 0	—	0 0	—
12	101	315 0	0 0	45 0	0 0	45 0	0 0
13	011	315 0	89 58	+ 45 0	— 89 58 $\frac{1}{2}$	+ 45 0	— 90 0
14	101	315 $\frac{1}{2}$	180 0	— 44 59 $\frac{1}{2}$	0 0	— 45 0	0 0
15	011	314 59 $\frac{1}{2}$	270 $\frac{1}{2}$	45 $\frac{1}{2}$	89 59 $\frac{1}{2}$	+ 45 0	90 0
16	112	324 45 $\frac{1}{2}$	45 2	+ 35 14 $\frac{1}{2}$	— 45 2	+ 35 16	— 45 0
17	112	324 44 $\frac{1}{2}$	225 2	— 35 15 $\frac{1}{2}$	— 45 2	— 35 16	— 45 0

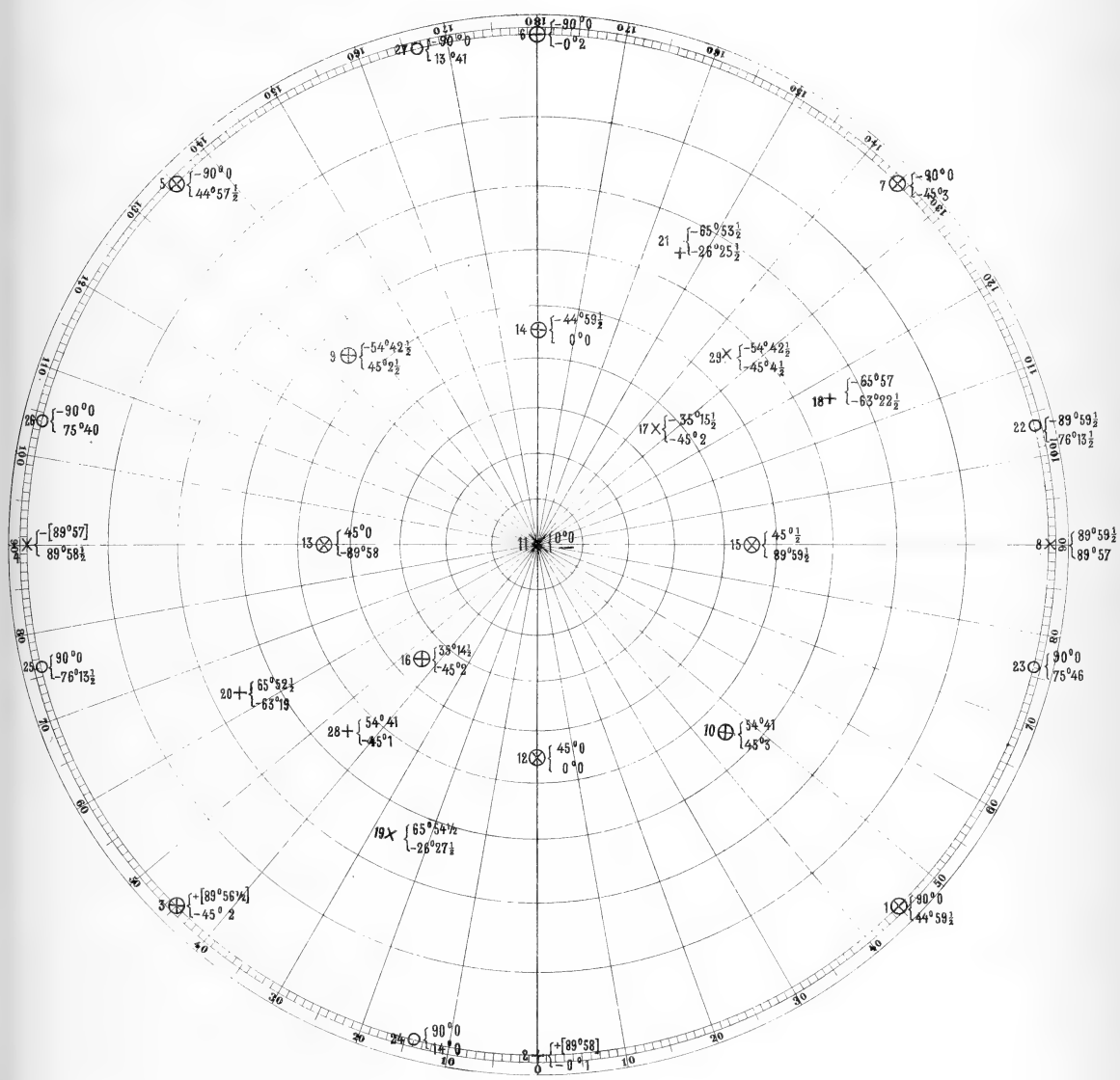
<sup>1)</sup> Великолѣнный кристаллъ полученъ мною отъ профессора П. В. Еремѣва, за что я и выражаю ему свою благодарность.

№	Символь.	Сырья наблюденія.		Перечисленіе.		Теоретическія величины.	
		A	$\alpha$	A	$\alpha$	A	$\alpha$
18	$\overline{121}$	294° 3'	243° 22 $\frac{1}{2}$ '	— 65° 57'	— 63° 22 $\frac{1}{2}$ '	65° 54'	— 63° 26'
19	$\overline{211}$	294 3 $\frac{1}{2}$	26 27 $\frac{1}{2}$	+ 65 54 $\frac{1}{2}$	— 26 27 $\frac{1}{2}$	65 54	— 26 34
20	$\overline{121}$	294 7 $\frac{1}{2}$	63 19	+ 65 52 $\frac{1}{2}$	— 63 19	— 65 54	— 63 26
21	$\overline{211}$	294 6 $\frac{1}{2}$	206 25 $\frac{1}{2}$	— 65 53 $\frac{1}{2}$	— 26 25 $\frac{1}{2}$	65 54	— 26 34
22	$\overline{140}$	270 $\frac{1}{2}$	256 13 $\frac{1}{2}$	— 89 59 $\frac{1}{2}$	— 76 13 $\frac{1}{2}$	— 90 0	— 75 58
23	$\overline{140}$	270 0	284 14	90 0	75 46	90 0	75 58
24	$\overline{410}$	270 0	346 0	90 0	14 0	90 0	14 2
25	$\overline{140}$	270 0	76 13 $\frac{1}{2}$	+ 90 0	— 76 13 $\frac{1}{2}$	90 0	— 75 58
26	$\overline{140}$	270 0	104 20	— 90 0	75 40	90 0	75 40
27	$\overline{410}$	270 0	166 19	— 90 0	13 41	90 0	14 2
28	$\overline{111}$	305 18	45 1	54 44	— 45 1	54 44	— 45 0
29	$\overline{111}$	305 17 $\frac{1}{2}$	225 4 $\frac{1}{2}$	— 54 42 $\frac{1}{2}$	— 45 4 $\frac{1}{2}$	— 54 44	— 45 0

Эта таблица, по даннымъ которой наблюденія нанесены на приложенной проэкции поучительна въ томъ отношеніи, что даетъ непосредственное сравненіе наблюденныхъ и записанныхъ угловъ съ теоретическими.

Для обозначенія достоинства рефлекса на этой проэкции и на всѣхъ остальныхъ мною приняты слѣдующіе знаки:

- ⊗ указываетъ на великолѣпный рефлексъ; умышленное передвиженіе грани на полминуты ясно сводитъ центръ сигнала съ центра волоска, и потому грани, обозначенныя такимъ образомъ опредѣлены въ своемъ пространственномъ положеніи съ точностью, не меньшею полминуты. На разсмотрѣнномъ кристаллѣ такіе рефлексы даютъ только плоскости ромбическаго додекаэдра, и то не всѣ;
- ⊕ обозначаетъ рефлексы, по степени совершенства образованія которыхъ трудно сдѣлать ошибку, превышающую 1 минуту;
- × обозначаетъ рефлексы, допускающіе возможность ошибки, доходящей до 2 минутъ;
- + обозначаетъ рефлексы, при которыхъ возможна ошибка до 5 минутъ. Сюда, между прочимъ, относятся и не дурные рефлексы, но слишкомъ слабые, не дающіе возможности разсмотрѣть пересѣченіе креста нитей, и потому установка производится по центру поля зрѣнія.
- показываетъ, что ошибка можетъ превышать 5 минутъ. Сюда относятся преимущественно пятна и полосы.



# 1. ФОРЦИТЪ. (FORCITE).

Ориентировка и юстировка по поясу [001] и по грани (100).



Впрочемъ, если непрерывная полоса слишкомъ длинна, иногда тянется на нѣсколько градусовъ (см. напр. эвклазъ), то я такую полосу непосредственно показываю на чертежѣ толстою чертою.

Рефлексы отъ граней куба, хотя и достаточно ярки, но даютъ слабый прямоугольный крестъ, тянущійся по поясамъ  $[100]$ ,  $[010]$  и  $[001]$ . Это указываетъ на колебательное образование граней въ этихъ поясахъ.

Разсматривая внимательно таблицу, мы увидимъ, что хотя величины отклоненій отъ теоретическихъ величинъ и весьма незначительны (кроме граней пирамидальнаго куба, дающихъ едва замѣтные слѣды рефлексовъ въ видѣ полосокъ и пятнышекъ) и мало превосходятъ ошибку, зависящую отъ свойства рефлекса, однако такія незначительныя отклоненія несомнѣнно существуютъ.

Особенно убѣдительнымъ доказательствомъ этому могутъ служить пояса  $[100]$ ,  $[010]$ ,  $[001]$ , въ которыхъ юстированіе по однимъ гранямъ приводитъ къ отклоненіямъ отъ нихъ другихъ граней пояса. Этого не могло бы случиться, если бы всѣ грани точно принадлежали одному поясу и кажущееся отклоненіе зависѣло бы только отъ ошибки.

Символы вычисляются изъ наблюденій прямо по формулѣ 17). Чтобы видѣть, въ какой мѣрѣ точно символы выводятся изъ наблюденій, возьму исключительно неточное наблюденіе 27.

Находимъ	$\text{cs } 13^\circ 41'$	$\text{sn } 13^\circ 41'$	$\text{cot } (-90^\circ)$
или	$-4,107$	$-1$	$0$

Для какого-нибудь точнаго наблюденія напр. перваго

находимъ	$\text{cs } 45^\circ \frac{1}{2}'$	$\text{sn } 45^\circ \frac{1}{2}'$	$\text{cot } 90^\circ$
или	$1,0000$	$1,0003$	$0$

Наконецъ, для какого-нибудь наблюденія средней точности напр. 8) находимъ

	$\text{cs } 89^\circ 57'$	$\text{sn } 89^\circ 57'$	$\text{cot } 89^\circ 59 \frac{1}{2}'$
или	$0,99999$	$0,00087$	$0,00014$

Наблюденную комбинацію можно выразить символомъ

$$(100)_4 (110)_4 (111)_4 (2\bar{1}1)_4 (\bar{1}\bar{1}1)_4 (410)_4$$

Видъ симметріи: (Гексакисъ-)Тетраэдрической.

## 2. Шпинель (съ Везувія).

(Размѣры  $2\frac{1}{2}$  mm.  $\times$  2 mm.  $\times$  1 mm.).Ориентировка по поясу  $\{001\}$  и грани (100).

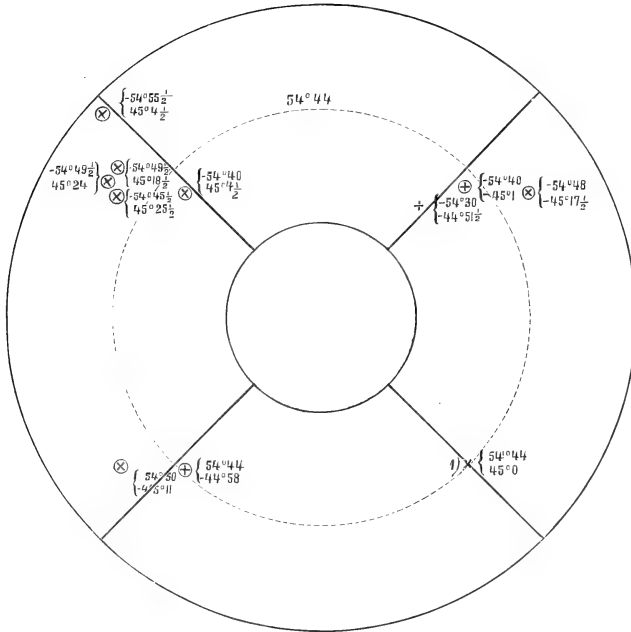
№	Символь.	Сырья наблюденія.		Перечисленіе.		Теоретическія величины.	
		A	$\alpha$	A	$\alpha^2)$	A	$\alpha$
1	111	305° 16'	315° 0'	54° 44'	45° 0'	54° 44'	45 0
2	$\bar{1}\bar{1}\bar{1}$	305 10	45 11	54 50	— 45 11	54 44	— 45 0
		305 16	44 58	54 44	— 44 58		
3	$\bar{1}\bar{1}\bar{1}$	305 $14\frac{1}{2}$	134 $34\frac{1}{2}$	— 54 $45\frac{1}{2}$	45 $25\frac{1}{2}$	— 54 44	45 0
		305 $10\frac{1}{2}$	134 36	— 54 $49\frac{1}{2}$	45 24		
		305 $10\frac{1}{2}$	134 $41\frac{1}{2}$	— 54 $49\frac{1}{2}$	45 $18\frac{1}{2}$		
		305 $4\frac{1}{2}$	134 $55\frac{1}{2}$	— 54 $55\frac{1}{2}$	45 $4\frac{1}{2}$		
		305 20	134 $58\frac{1}{2}$	— 54 40	45 $4\frac{1}{2}$		
		305 12	225 $17\frac{1}{2}$	— 54 48	— 45 $17\frac{1}{2}$	— 54 44	— 45 0
4	$\bar{1}\bar{1}\bar{1}$	305 20	225 1	— 54 40	— 45 1		
		305 30	224 $51\frac{1}{2}$	— 54 30	— 44 $51\frac{1}{2}$		

Юстировка по косому поясу граней октаэдра; она произведена приблизительно, потому что по характеру образования граней остается неизвѣстнымъ, какія слѣдуетъ принимать за истинныя грани октаэдра.

Примѣръ приводится исключительно для того, чтобы наглядно показать неправильности въ образованіи граней (скучиваніе, *Hypparallelität*).

Для того, чтобы имѣть возможность нанести эти результаты графически, необходимо имѣть сѣтку очень большой величины. Я предположилъ сѣтку столь большой величины, чтобы въ проэкціи величина одной минуты (въ мѣстахъ проэкціи, ближайшихъ къ гранямъ  $(111)_i$ ) измѣрялась длиною 1 mm. Въ этомъ масштабѣ и нанесены наблюденія на фигурѣ, и притомъ соответствующія части проэкціи въ параллельномъ положеніи приближены къ центру; кругъ точекъ, широта которыхъ  $54^\circ 44'$ , на которомъ должны находиться истинные полюсы всѣхъ граней октаэдра, показанъ пунктиромъ отдѣльно. Сплошныя прямыя выражаютъ пояса  $[110]$  и  $[\bar{1}\bar{1}\bar{0}]$ .

<sup>2)</sup> Не слѣдуетъ упускать изъ виду, что значеніе величинъ угловъ  $\alpha$  для разныхъ широтъ разное; для широты  $54^\circ 44'$  значеніе величины этого угла составляетъ 0,816 значенія величины угла A.



2. Шпинель.

Из приложенной фигуры видно, что въ расположении подчиненныхъ индивидовъ кристалла не имѣется никакой правильности, не проявляется подчинения закону симметріи

Наблюденная комбинація:  $(\blacksquare\blacksquare\blacksquare)_4$

Видъ симметріи: (Гексакисъ-)Октаэдрическій

## Гексагональная система.

## 3. Бериллъ (изъ Ильменскихъ горъ)

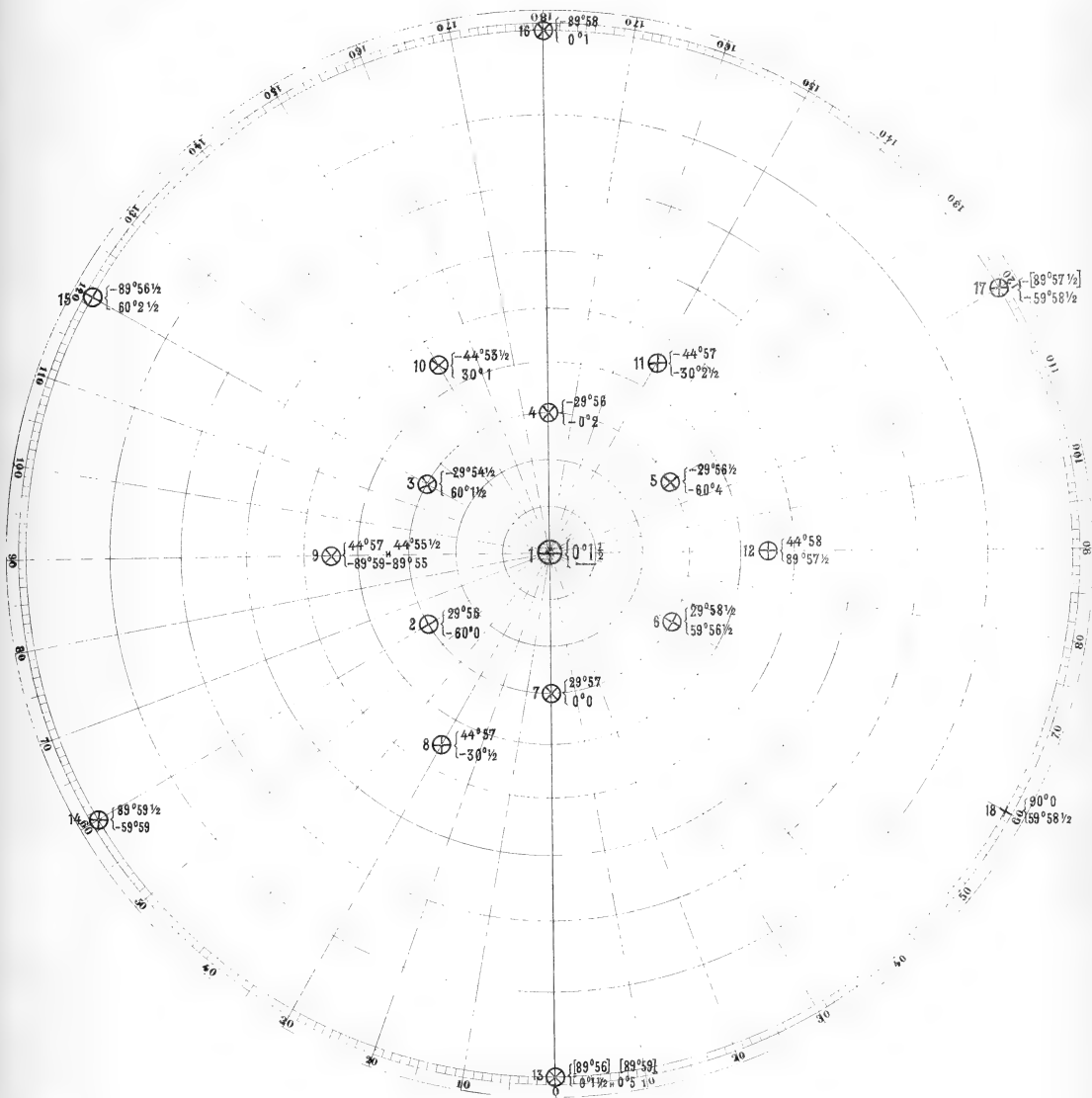
(Размѣры — 5 мм. × 5 мм. × 4 мм.).

Ориентировка и юстировка по поясу  $[111]$  и по грани  $(\bar{2}\bar{1}\bar{1})$ .

№	Символь.	Сырья наблюденіи.		Перечисленіе.		Вычислено изъ уравненій прозрачности.	
		A	$\alpha$	A	$\alpha$	A	$\alpha$
1	111	359° 58'	—	0° 4 $\frac{1}{2}$ '	—	0° 0'	—
2	$\bar{2}\bar{1}\bar{2}$	330 4	60° 0'	29 56	—60° 0'	29 56 $\frac{1}{2}$	—60° 0'
3	001	330 5 $\frac{1}{2}$	119 58 $\frac{1}{2}$	—29 54 $\frac{1}{2}$	60 4 $\frac{1}{2}$	—29 56 $\frac{1}{2}$	60 0
4	$\bar{1}\bar{2}\bar{2}$	330 4	180 2	—29 56	—0 2	—29 56 $\frac{1}{2}$	0 0
5	010	330 3 $\frac{1}{2}$	240 4	—29 56 $\frac{1}{2}$	—60 4	—29 56 $\frac{1}{2}$	—60 0
6	$\bar{2}\bar{2}\bar{1}$	330 4 $\frac{1}{2}$	300 3 $\frac{1}{2}$	29 58 $\frac{1}{2}$	59 56 $\frac{1}{2}$	29 56 $\frac{1}{2}$	60 0
7	100	330 3	0 0	29 57	0 0	29 56 $\frac{1}{2}$	0 0
8	$\bar{4}\bar{2}\bar{1}$	315 3	30 $\frac{1}{2}$	44 57	—30 $\frac{1}{2}$	44 56	—30 0
9	$\bar{1}\bar{2}\bar{4}$ {	315 3	89 59	44 57	—89 59	44 56	—90 0
		315 4 $\frac{1}{2}$	89 55	44 55 $\frac{1}{2}$	—89 55	44 56	—90 0
10	$\bar{2}\bar{1}\bar{4}$	315 6 $\frac{1}{2}$	149 59	—44 53 $\frac{1}{2}$	30 4	—44 56	30 0
11	$\bar{2}\bar{4}\bar{1}$	315 3	240 2 $\frac{1}{2}$	—44 57	—30 2 $\frac{1}{2}$	—44 56	—30 0
12	$\bar{4}\bar{2}\bar{2}$	315 2	270 2 $\frac{1}{2}$	44 58	89 57 $\frac{1}{2}$	44 56	90 0
13	$\bar{2}\bar{1}\bar{1}$ {	269 56	359 58 $\frac{1}{2}$	[89 56]	0 4 $\frac{1}{2}$	90 0	0 0
		269 59	359 55	[89 59]	0 5	90 0	0 0
14	$\bar{1}\bar{2}\bar{1}$	270 $\frac{1}{2}$	59 59	89 59 $\frac{1}{2}$	—59 59	90 0	—60 0
15	$\bar{1}\bar{1}\bar{2}$	270 3 $\frac{1}{2}$	119 57 $\frac{1}{2}$	—89 56 $\frac{1}{2}$	60 2 $\frac{1}{2}$	—90 0	60 0
16	$\bar{2}\bar{1}\bar{1}$	270 2	179 59	—89 58	0 4	—90 0	0 0
17	$\bar{1}\bar{2}\bar{1}$	269 57 $\frac{1}{2}$	239 58 $\frac{1}{2}$	—[89 57 $\frac{1}{2}$ ]	—59 58 $\frac{1}{2}$	—90 0	—60 0
18	$\bar{4}\bar{1}\bar{2}$	270 0	300 4 $\frac{1}{2}$	90 0	59 58 $\frac{1}{2}$	90 0	—60 0

Наблюденія эти для наглядности нанесены (въ гномостереографической проекціи) на фигуры; изъ нея же можно судить и о достоинствѣ полученныхъ чиселъ.





### 3. БЕРИЛЛЪ (BERYL).

Ориентировка и юстировка по полюсу [111] и по грани (211).





Такимъ образомъ, обѣ грани весьма точно выражаются символомъ  $(1\bar{2}4)$ , и притомъ особенно точно именно вторая, тогда какъ первая, рефлексъ которой столь же отчетливъ, есть результатъ случайной неправильности въ кристаллизаци.

Полный символъ всѣхъ граней есть

$$\pm [\bar{2}11]_3 \cdot \pm [111]_3 \cdot \pm [100]_3 \cdot \pm [41\bar{2}]_3$$

Видъ симметріи: Дигексагонально-бипирамидальный.

#### 4. Кварцъ (изъ Porto Seguro въ Корсику).

(Линейные размѣры  $1\frac{1}{2}$  mm.  $\times$   $1\frac{1}{2}$  mm.  $\times$   $1\frac{1}{2}$  mm.).

#### Ориентировка по поясу $[111]$ и по грани $(2\bar{1}\bar{1})$ .

Примѣръ жестировки по косому поясу [гранямъ +  $(100)_3$  и -  $(100)_3$ ].

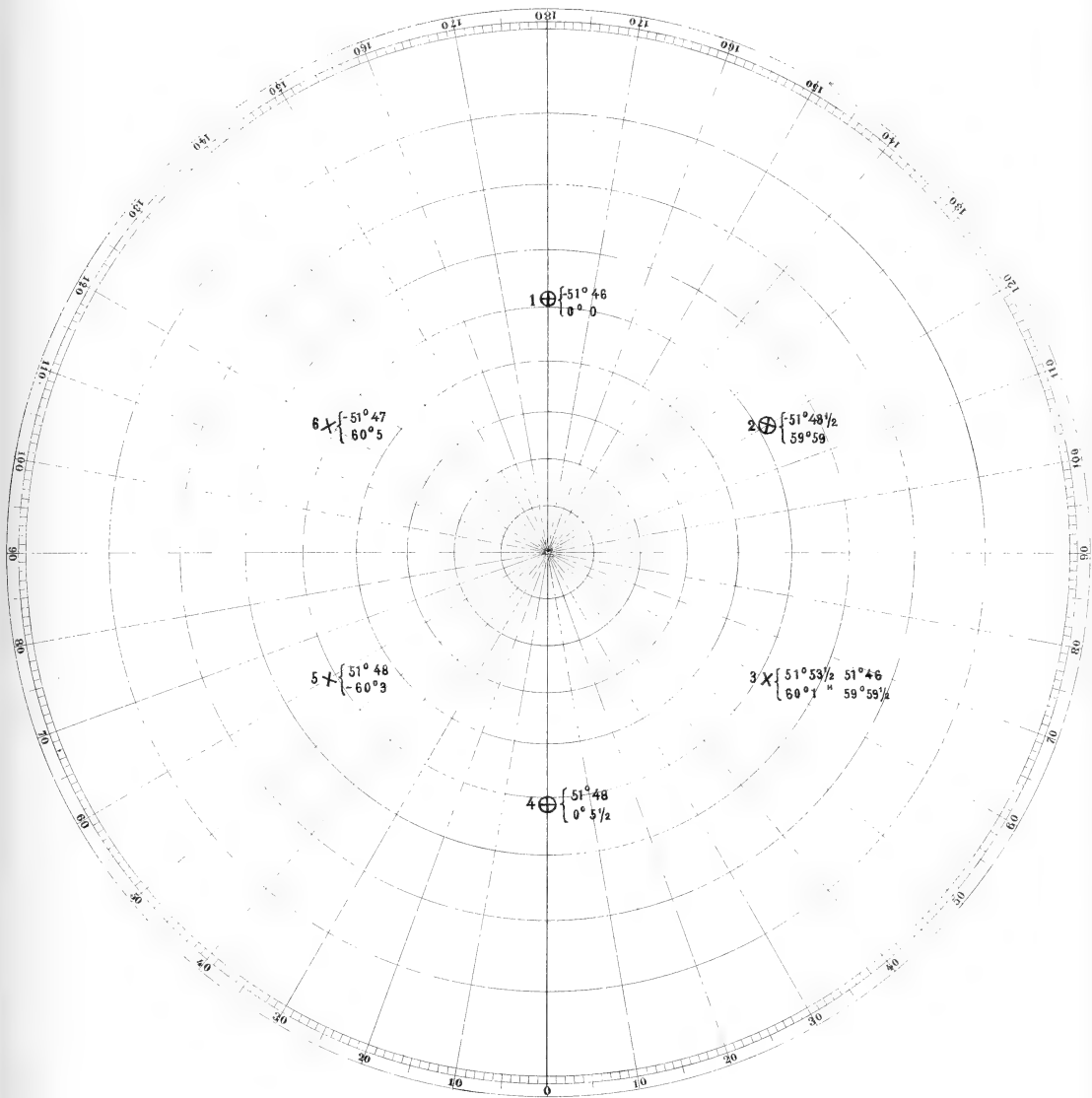
№	Символъ.	Сырья наблюденія.		Перечисленіе.		Вычисл. по уравн. проэкціи.	
		A	$\alpha$	A	$\alpha$	A	$\alpha$
1	$\bar{1}22$	$308^\circ 44'$	$180^\circ 0'$	$-51^\circ 46'$	$0^\circ 0'$	$-51^\circ 47\frac{1}{2}'$	$0^\circ 0'$
2	010	$308 41\frac{1}{2}$	239 59	$-51 48\frac{1}{2}$	$-59 59$	$-51 47\frac{1}{2}$	$-60 0$
3	$2\bar{2}\bar{1}$ {	$308 6\frac{1}{2}$	229 59	$51 53\frac{1}{2}$	60 1		
		$308 14$	$300 \frac{1}{2}$	$51 46$	$59 59\frac{1}{2}$	$51 47\frac{1}{2}$	60 0
4	100	$308 12$	$359 54\frac{1}{2}$	$51 48$	$0 5\frac{1}{2}$	$51 47\frac{1}{2}$	0 0
5	$2\bar{1}2$	$308 12$	60 3	$51 48$	$-60 3$	$51 47\frac{1}{2}$	$-60 0$
6	001	$308 13$	119 55	$-51 47$	60 5	$-51 47\frac{1}{2}$	60 0

Наблюденія эти нанесены на проэкціи. Изъ нея видно, что лучшія наблюденія относятся къ гранямъ 1), 2) и 4). Взявъ изъ соответствующихъ чиселъ 5-го столбца среднее, найдемъ  $51^\circ 47\frac{1}{2}'$ , и этотъ уголъ есть ничто иное какъ уголъ вертикальной оси съ нормалью къ одной изъ граней пояса напр.  $(100)$ .

Имѣя въ виду, что уравненія проэктивности имѣютъ видъ:

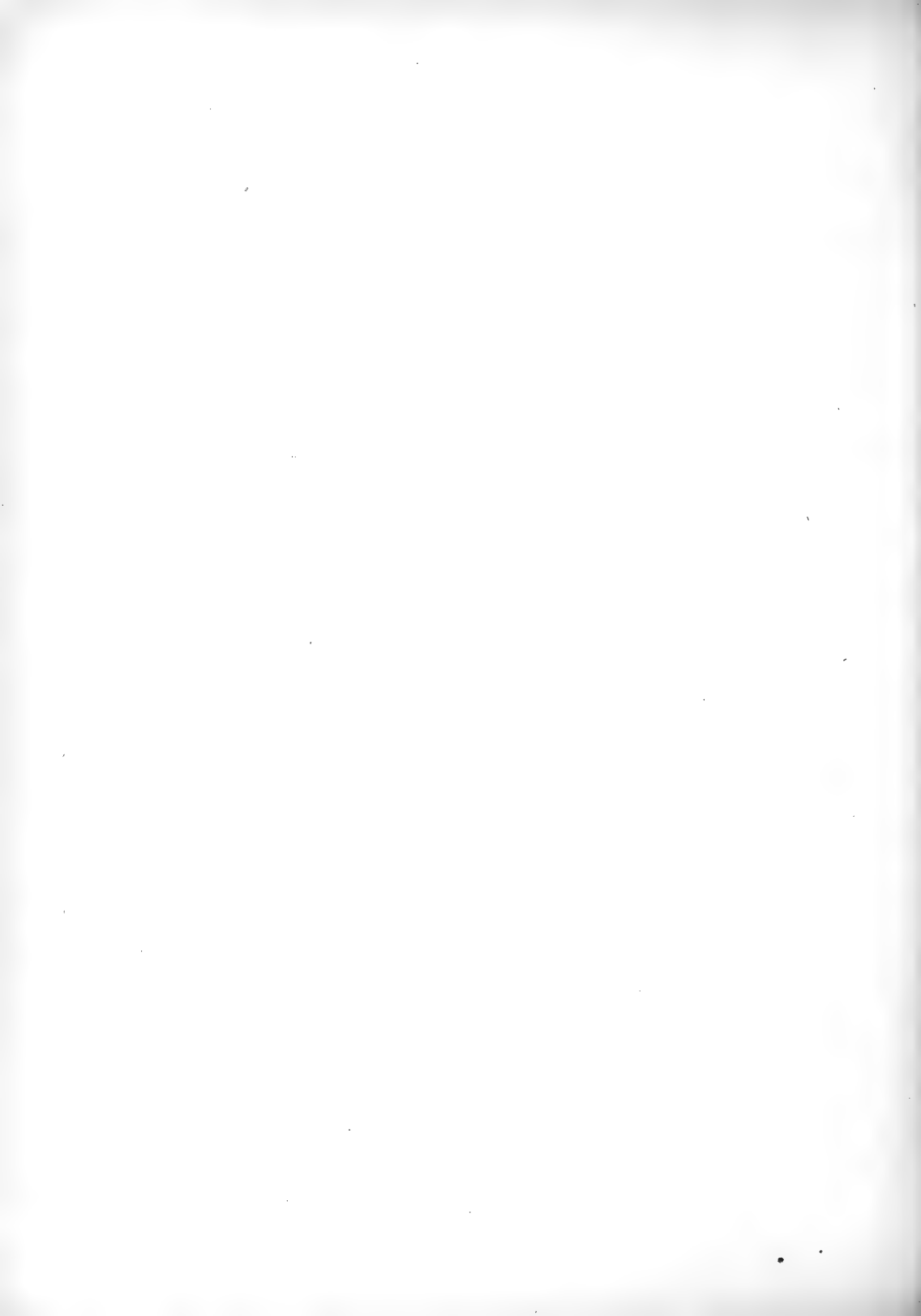
$$p_0' : p_1' : p_2' = kp_0 + (p_0 + p_1 + p_2) : kp_1 + (p_0 + p_1 + p_2) : kp_2 + (p_0 + p_1 + p_2)$$

найдемъ для котангенса угла между гранями  $(111)$  и  $(100)$  выраженіе  $\frac{k+3}{k\sqrt{2}} = \cot(51^\circ 47\frac{1}{2}')$



4. КВАРЦЪ. (QUARTZ).

Орієнтовка по полю [111] и по грани (211).



Отсюда вычисляем  $k = 26,48$  а потому

$$\begin{aligned} \frac{p_0'}{p_1'} &= \frac{26,48 p_0 + (p_0 + p_1 + p_2)}{26,48 p_1 + (p_0 + p_1 + p_2)} \\ \frac{p_2'}{p_1'} &= \frac{26,48 p_2 + (p_0 + p_1 + p_2)}{26,48 p_1 + (p_0 + p_1 + p_2)} \end{aligned}$$

и

$$\begin{aligned} \frac{r_0'}{r_1'} &= \frac{29,48 r_0 - (r_0 + r_1 + r_2)}{29,48 r_1 - (r_0 + r_1 + r_2)} \\ \frac{r_2'}{r_1'} &= \frac{29,48 r_2 - (r_0 + r_1 + r_2)}{29,48 r_1 - (r_0 + r_1 + r_2)} \end{aligned}$$

Из величины  $k$ , в свою очередь, вычисляем  $m = 0,8982$ .

Наблюдаемый кристалл представлять комбинацию:

$$(1'0'0')_3 : (2'\bar{2}'1')_3$$

Вид симметрии: тригонально-триплицевый.

### Тетрагональная система.

#### 5. Цирконъ (из Пльменскихъ горъ).

(Линейные размеры осколка 6 mm. × 5 mm. × 3 mm.).

Примеръ ориентировки по произвольному ребровому поясу (границ) и произвольному ребру.

№	Символь.	Сырья наблюдений.		Перечисление.	
		A	α	A	α
1	111	0° 0'	—	0° 0'	—
2	311	29 55	0° 0'	— 29 55	0° 0'
3	100	61 38	0 0	— 61 38	0 0
4	$\bar{1}\bar{1}\bar{1}$	303 20	253 4	— 56 40	— 73 4
5	$\bar{2}\bar{2}\bar{1}$	298 57	236 51	— 70 3	— 56 51

По характеру грани 1) можно допустить, что она есть грань главной бипирамиды.

В такомъ случае, изъ этой таблицы мы можемъ прямо заключить, что грань 4) есть другая той же простой фигуры, такъ какъ уголъ между ними (56° 40') характеренъ для циркона.

По этому углу легко выведемъ уравнения проэктивности.

Уравненія эти для тетрагональнаго кристалла имѣютъ видъ:

$$p_0' : p_1' : p_2' = p_0 : p_1 : cp_2 \quad \text{A)}$$

Если придадимъ грани 1) символъ (111) а грани 4) символъ ( $\bar{1}\bar{1}1$ ), то на основаніи уравненія A) найдемъ

$$k = \text{cs } (56^\circ 40') = \frac{c^2}{2 + c^2}, \text{ а отсюда } c^2 = \frac{2k}{1-k} = \frac{1,09902}{0,45049}$$

Отсюда вычисляемъ.

$$p_0' : p_1' : p_2' = p_0 : p_1 : 1,5619 p_2 \quad \text{a)}$$

и

$$r_0' : r_1' : r_2' = r_0 : r_1 : 0,64024 r_2 \quad \text{b)}$$

и обратно

$$p_0 : p_1 : p_2 = p_0' : p_1' : 0,64024 p_2' \quad \text{c)}$$

и

$$r_0 : r_1 : r_2 = r_0' : r_1' : 1,5619 r_2' \quad \text{d)}$$

Имѣя уравненія проэктивности, мы легко опредѣлимъ символы остальныхъ граней:

Сначала опредѣлимъ символы пояса граней 1), 2) и 3). Символь пояса граней 1) и 4)  $[\bar{1}01]$ , символъ грани 1) (111), а уголь, образуемый искомымъ поясомъ съ известнымъ, есть  $73^\circ 4'$ .

Поэтому, по формулѣ 15) находимъ

$$x_0 : x_1 : x_2 = -1 + \frac{0,6402}{R' \cot(73^\circ 4')} : -\frac{2,2021}{R' \cot(73^\circ 4')} : 1 + \frac{1,5619}{R' \cot(73^\circ 4')}$$

гдѣ

$$R' = \sqrt{2 + (1,5619)^2}$$

т. е.  $-0,0020 : -3,4328 : 3,4348$  или  $[0\bar{1}1]$

Зная теперь поясъ и углы, образуемые гранями 2) и 3) съ гранью 1), мы легко вычислимъ по той же формулѣ 15) ихъ символы,

Для грани 2) находимъ  $r = (0\bar{1}\bar{1})$ ;  $p = (111)$ ;  $\alpha = 29^\circ 55'$ , а потому

$$x_0 : x_1 : x_2 = 1 + \frac{2,2021}{R' \cot \alpha} : 1 - \frac{0,6402}{R' \cot \alpha} : 1 - \frac{1}{R' \cot \alpha \cdot 1,5619}$$

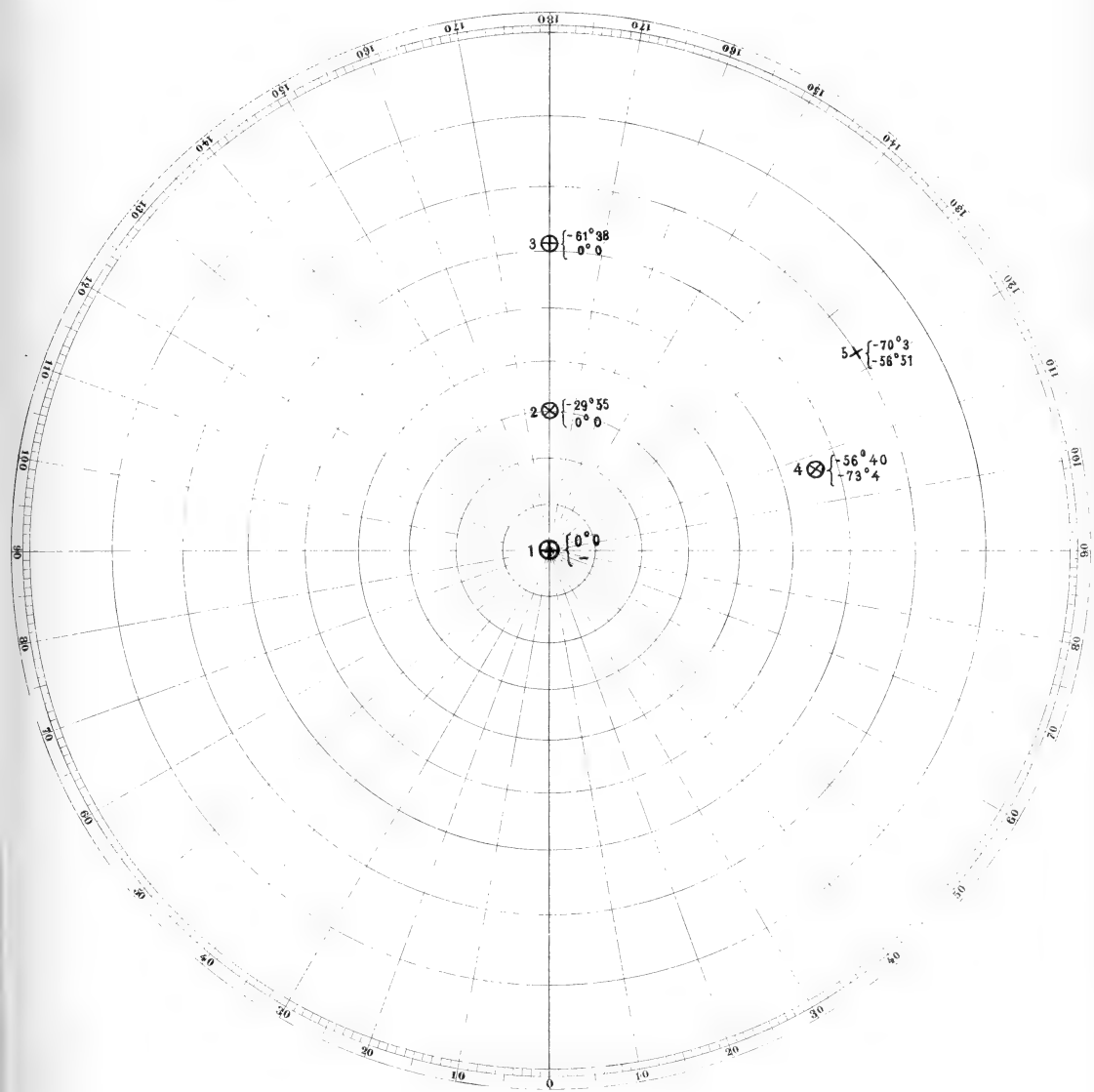
гдѣ

$$R' = \sqrt{1 + (0,6402)^2}$$

т. е.  $2,997 : 1 : 1$  или (311)

Символь грани 3) мы можемъ опредѣлять еще по тому обстоятельству, что она образуется какъ съ 1) (111) такъ и съ 4) ( $\bar{1}\bar{1}1$ ) одинаковые углы.





### 5. ДИРКОНЪ. (ZIRKONЕ).

Ориентировка по ребровому поясу (грави) (111) и по ребру  $[\bar{2}11]$ .  
 Юстировка по той-же грави и по поясу  $[011]$ .



В самом деле, применяя теперь формулу (24), находим  $\alpha' = \alpha_1 - \alpha_2 = 73^\circ 4'$ ;  $A_1 = 56^\circ 40'$  и  $A_2 = 61^\circ 38'$ .

Находим  $\operatorname{tg} A_1$ ,  $\operatorname{cs} \alpha' = \cot 66^\circ 7'$  ( $\beta = 66^\circ 7'$ )

• а отсюда 
$$\operatorname{cs}(n_1 n_2) = \frac{\operatorname{cs} A_1}{\operatorname{sn} \beta} \operatorname{sn}(A_2 + \beta) = \operatorname{cs} 61^\circ 38'$$

Итак, грань 3) есть грань пересечения поясов  $[110]$  и  $[\bar{0}\bar{1}1]$  т. е. это есть грань (100).

Нам остается определить символ грани 5). Применим сюда способ иррациональных поясов, для чего предварительно по только-что примененным формулам вычислим углы, образуемые этой гранью с гранями 4) ( $1\bar{1}1$ ) и 3) (100).

Находим соответственно величины  $19^\circ 40'$  и  $52^\circ 5'$ .

Теперь, применяя указанный способ, найдем

$$\begin{aligned} k &= (1\bar{1}1) \quad k' = (1 \cdot \bar{1} \cdot 1,5619) \quad c_1 = \operatorname{cs}(19^\circ 40') \quad K = \sqrt{2 + (1,5619)^2} \\ l &= (111) \quad l' = (1 \cdot 1 \cdot 1,5619) \quad c_2 = \operatorname{cs}(70^\circ 3') \quad L = \sqrt{2 + (1,5619)^2} \\ m &= (100) \quad m' = (100) \quad c_3 = \operatorname{cs}(52^\circ 5') \quad M = 1 \end{aligned}$$

$$\lg N_1 = \lg K + \lg c_1 - \lg L - \lg c_2 = 0,440888 = \lg 2,7599$$

$$\lg N_2 = \lg K + \lg c_1 - \lg M - \lg c_3 = 0,509038 = \lg 3,2288$$

Поэтому уравнения

$$\begin{aligned} p_0' (N_1 l_0' - k_0') + p_1' (N_1 l_1' - k_1') + p_2' (N_1 l_2' - k_2') &= 0 \\ p_0' (N_2 m_0' - k_0') + p_1' (N_2 m_1' - k_1') + p_2' (N_2 m_2' - k_2') &= 0 \end{aligned}$$

теперь примут вид

$$\begin{aligned} 1,7599 p_0' + 3,7599 p_1' + 2,7488 p_2' &= 0 \\ 2,2288 p_0' + p_1' - 1,5619 p_2' &= 0 \end{aligned}$$

Отсюда вычислим

$$p_0 : p_1 : p_2 = (2\bar{2}1)$$

Таким образом исследованный осколок представляет комбинацию

$$(111)_2 (100)_2 (311)_2 (2\bar{2}1)_2.$$

Странным представляется полное отсутствие следов граней (221) и (311). Как будто отсутствуют вертикальные плоскости симметрии.

## Диагональная система.

### Ромбическая подсистема.

#### 6. Топазъ <sup>1)</sup> (изъ Ильменскихъ горъ).

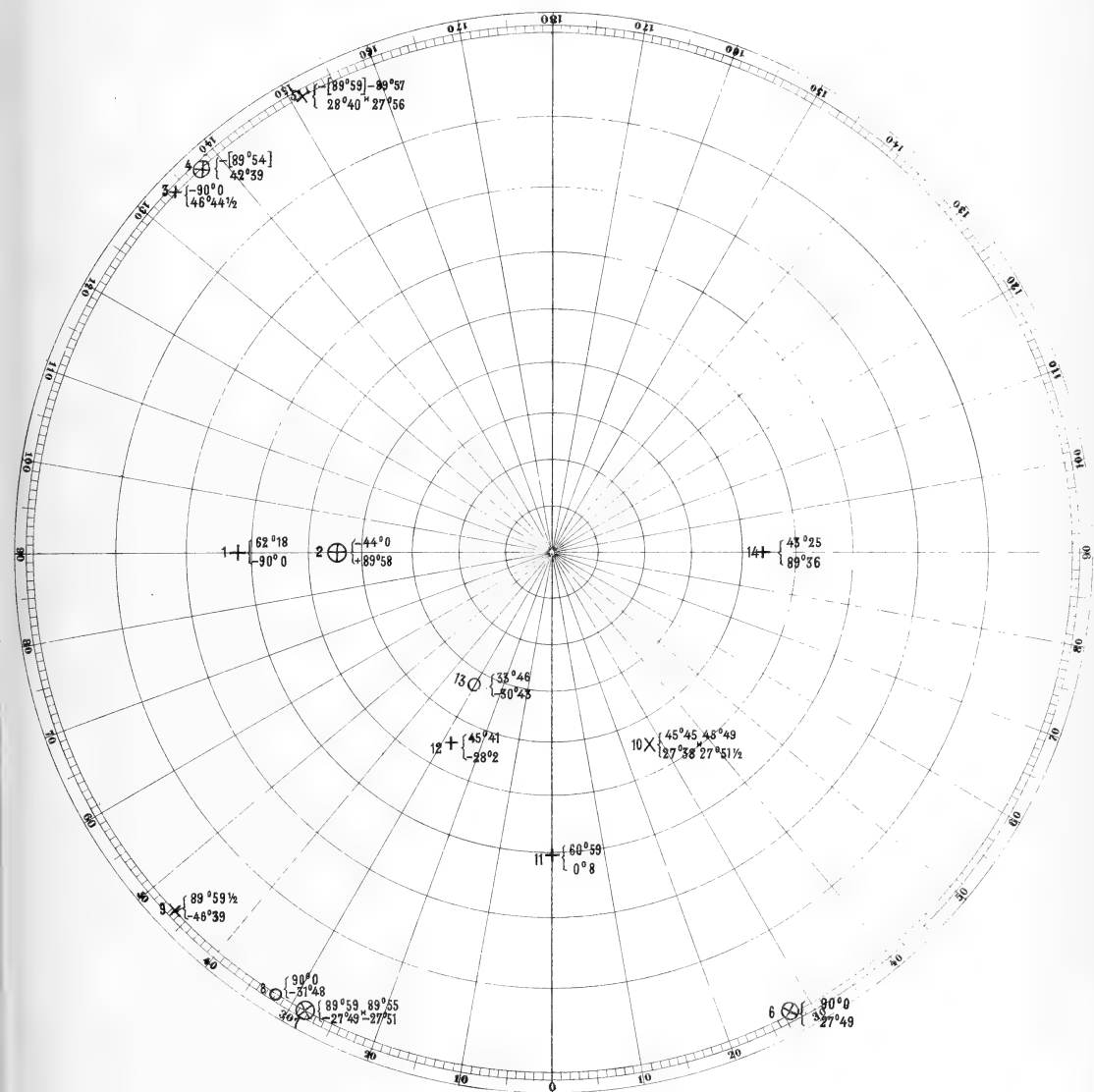
(Линейные размѣры осколка 6 мм. × 6 мм. × 4 мм.)

Ориентировка по поясу [001] и грани (100). Юстировка по поясу [100] и грани (010).

№	Символъ.	Сырья наблюденія.		Перечисленіе.		Вычисл. изъ уравн. прозект.	
		A	α	A	α	A	α
1	021	297° 42'	90° 0'	62° 48'	— 90° 0'	62° 37'	— 90° 0'
2	011	316 0	90 2	— 44 0	+ 89 58	— 44 0	+ 90 0
3	120	270 0	133 15 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	— 90 0	+ 46 44 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	— 90 0	+ 46 32
4	?	269 54	137 24	— [89 54]	+ 42 39		
5	110 {	269 59	151 20	— [89 59]	+ 28 40		
		270 3	152 4	— 89 57	+ 27 56	— 90 0	+ 27 49
6	110	270 0	332 11	90 0	+ 27 49	90 0	+ 27 49
7	110 {	270 1	27 49	89 59	— 27 49	90 0	— 27 49
		270 5	27 51	89 55	— 27 51		
8	?	270 0	31 48	90 0	— 31 48		
9	120	270 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	46 39	89 59 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	— 46 39	90 0	— 46 32
10	112 {	45 45	152 22	45 45	+ 27 38		
		45 49	152 8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	45 49	+ 27 51 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	45 58	27 49
11	101	60 59	179 52	60 59	+ 0 8	61 20	0 0
12	112	45 41	208 2	45 41	— 28 2	45 58	— 27 49
13	113	33 46	210 43	33 46	— 30 43	34 24	— 27 49
14	011	43 25	90 24	43 25	+ 89 36	44 0	+ 90 0

<sup>1)</sup> Какъ видно изъ приложенной таблицы, избранный кристаллъ представляетъ значительныя неуровненности въ образованіи граней, почему вычисленные элементы кристалла нельзя признать удовлетворительными. Здѣсь я имѣю въ виду привести примѣръ наблюденій и вычисленій, и показать, съ какою наглядностью изображаются такіе неуровненности при употребленіи теодолитнаго метода.

Весьма любопытный примѣръ неуровненностей и несовершенствъ въ образованіи граней далъ другой кристаллъ той же группы. Фигуры 28) и 29) представляютъ возможно точное воспроизведеніе рефлексовъ, наблюдавшихся въ этомъ кристаллѣ отъ граней (010) и (011). Особенно замѣчательно, что въ этомъ случаѣ несовершенство въ образованіи граней подчиняется закону симметріи.

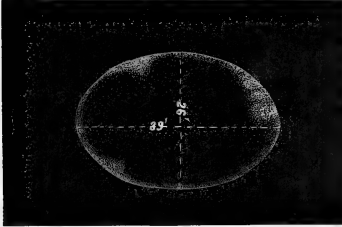


### 6. Топазъ. (Торазе).

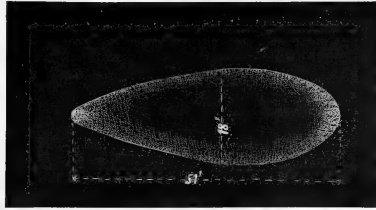
Ориентировка по полюсу [001] и по грани (100).  
 Юстировка по тому же полюсу и по полюсу [100].



Как и в остальных случаях, и здесь наблюдения нанесены графически на проекция. Из нее видим, что лучи наблюдения относятся к граням 2 и 6. На соответственных числах мы и будем основывать вычисления.



Фиг. 28.



Фиг. 29.

Сначала определим проективные символы поясов, проходящих через грань 6 и отсутствующую грань (001), а также через грань 2 и отсутствующую грань (100).

Грань их пересечения будет отсутствующая (111). Ее проективный символ есть  $(-1, 8953 - 1 + 1, 0358)$ .

Если же уравнения проективности представим в формѣ  $p'_0 : p'_1 : p'_2 = c_1 p_0 : p_1 : c_3 p_2$ , то той же грани соответствует проективный символ  $(-c_1 - 1 + c_3)$ .

Слѣдовательно  $c_1 = 1, 8953$  и  $c_3 = 1, 0358$ .

Итакъ, находимъ

$$p'_0 : p'_1 : p'_2 = 1, 8953 p_0 : p_1 : 1, 0358 p_2 \quad \text{a)}$$

и

$$r'_0 : r'_1 : r'_2 = 0, 5276 r_0 : r_1 : 0, 9657 r_2 \quad \text{b)}$$

И обратно

$$p_0 : p_1 : p_2 = 0, 5276 p'_0 : p'_1 : 0, 9657 p'_2 \quad \text{c)}$$

и

$$r_0 : r_1 : r_2 = 1, 8953 r'_0 : r'_1 : 1, 0358 r'_2 \quad \text{d)}$$

На основаніи этихъ уравненій вычислены символы. И обратно, по вѣроятнѣйшимъ ближайшимъ символамъ, приведеннымъ во 2-мъ столбцѣ вычислены углы столбцовъ 7-го и 8-го.

Сравненіе вычисленныхъ данныхъ съ наблюдаемыми указываетъ на значительныя отклоненія; и притомъ, такъ какъ величины этихъ отклоненій превосходятъ достоинство наблюдений, то отклоненія эти свидѣтельствуютъ о неправообразности кристаллообразования.

Впрочемъ, не слѣдуетъ также и преувеличивать значеніе наблюдаемыхъ отклоненій.

Чтобы охарактеризовать ихъ, произведемъ вычисленіе наихудше наблюдаемой грани 13. Для нея проэктивный символъ  $cs (-30^\circ 43') : \sin (-30^\circ 43') : \cot 33^\circ 46'$ . Вставляя эти числа въ формулу с) находимъ: 1,84; — 2,12; 6,00.

Особое положеніе занимаютъ грани вертикальнаго пояса, къ которымъ относится рефлексы 4) и 8). Для этихъ граней получились бы очень сложные символы, и притомъ грани эти оказались бы изолированными т. е. тѣ другія грани, которыя должны были бы ихъ дополнять, чтобы симметрія кристалла не нарушилась, безусловно отсутствуютъ въ цѣлой и образовавшейся части кристалла.

Поэтому, естественное понимать эти отклоненія какъ громадные неправильности въ расположеніи индивидовъ кристалла (скупчаніе, Нуропarallelism). Замѣчательно, что обѣ эти грани образуютъ съ ближайшими гранями, дающими яркіе рефлексы, уголъ около  $4^\circ$ , а именно грань 4) съ гранью 3) и грань 8) съ гранью 7); оба индивидуума почти параллельны между собой.

Поэтому, въ наблюдаемомъ кристаллѣ я усматриваю слѣдующую комбинацію <sup>1)</sup>:

$$(110) \cdot (120) \cdot (011) \cdot (021) \cdot (112) \cdot (\bar{1}\bar{1}\bar{3}) \cdot (101)$$

Видъ симметріи: ромбобипирамидальный.

### Моноклиная подсистема.

#### 7. Эпидотъ <sup>1)</sup> (изъ Зульцбаха).

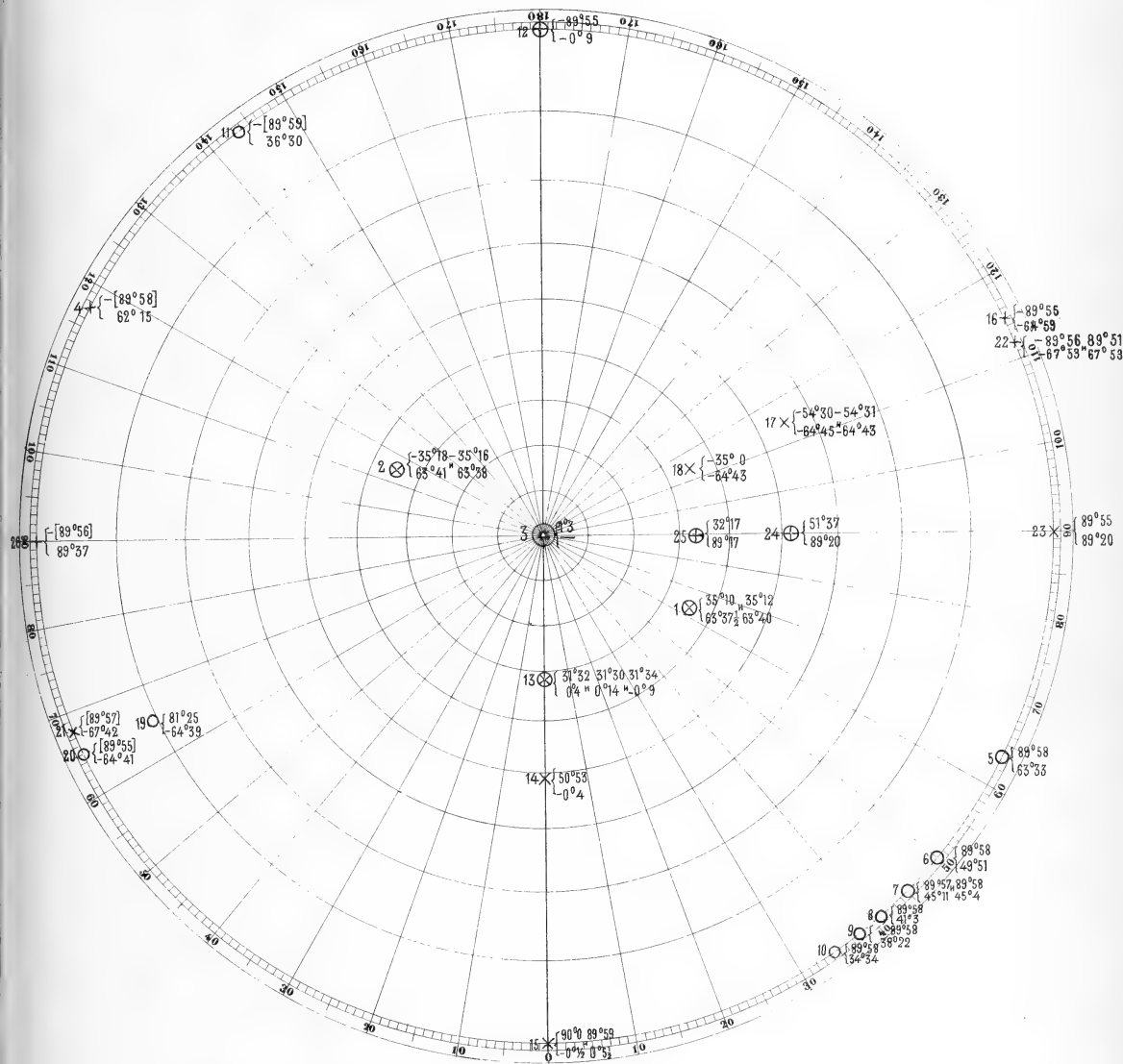
(Линейные размѣры 13 мм. × 7 мм. × 4 мм.).

#### Ориентировка и юстировка по поясу [010] и по грани (001).

№	Символъ.	Сырья наблюденія.		Перечисленіе.		Вычисл. изъ уравн. проэктив.	
		A	$\alpha$	A	$\alpha$	A	$\alpha$
1	111 {	324° 50'	296° 22 $\frac{1}{2}$ '	35° 10'	63° 37 $\frac{1}{2}$ '	35° 11'	63° 37 $\frac{1}{2}$ '
		324 48	296 20	35 12	63 40		
2	$\bar{1}\bar{1}\bar{1}$ {	35 18 $\frac{1}{2}$	296 19	— 35 18	63 41	— 35 11	63 37 $\frac{1}{2}$
		35 16	296 22	— 35 16	63 38		
3	010	358 57	—	4 3	—	0 0	$\frac{0}{0}$
4	$\bar{1}\bar{0}\bar{1}$	90 2	297 45	— [89 58]	62 15	— 90 0	63 37 $\frac{1}{2}$

<sup>1)</sup> Экземпляр изъ музея Горнаго Института.





### 7. Эпидотъ. (EPIDOTE).

Орієнтовка и юстировка по поясу [010] и по грани (001).



№	Символь.	Сырыя наблюденія.		Перечисленіе.		Вычисл. изъ уравн. проэктв.	
		A	$\alpha$	A	$\alpha$	A	$\alpha$
5	101	270° 2'	296° 27'	+ 89° 58'	63° 33'	90° 0'	63° 37' $\frac{1}{2}$
6	?	270 2	310 9	+ 89 58	49 51		
7	? {	270 3	314 49	+ 89 57	45 11		
		270 2	314 56	+ 89 58	45 4		
8	?	270 2	318 57	+ 89 58	41 3		
9	?	270 2	321 38	+ 89 58	38 22		
10	102	270 2	325 26	+ 89 58	34 34	+ 90 0	34 14
11	102	90 4	323 30	- [89 59]	36 30	- 90 0	34 14
12	001 {	89 55	0 9	- 89 55	- 0 9	- 90 0	0 0
		328 28	359 56	31 32	0 4	31 36	0 0
		328 30	359 46	31 30	0 14		
13	011 {	328 26	0 9	31 34	- 0 9		
		309 6 $\frac{1}{2}$	0 4	50 53 $\frac{1}{2}$	- 0 4	50 54	0 0
14	012	270 0	0 $\frac{1}{2}$	90 0	- 0 $\frac{1}{2}$	90 0	0 0
15	001 {	270 1	359 54 $\frac{1}{2}$	89 59	0 5 $\frac{1}{2}$		
		89 55	64 59	- 89 55	- 64 59	- 90 0	- 64 28
16	100 {	54 30	64 45	- 54 30	- 64 45	- 54 28	- 64 28
		54 31	64 43	- 54 31	- 64 43		
17	210	35 0	64 43	- 35 0	- 64 43	- 35 0	- 64 28
18	110	278 35	64 39	81 25	- 64 39	81 52	- 64 28
19	101.0(?)	269 55	64 41	[89 55]	- 64 41	90 0	- 64 28
20	100	269 57	67 42	[89 57]	- 67 42		
21	?	89 56	67 53	- 89 56	- 67 53		
		89 51	67 53	- 89 51	- 67 53		
22	?	89 55	90 40	+ 89 55	89 20	90 0	89 20
23	201	51 37	90 40	+ 51 37	89 20	51 38	89 20
24	211	32 17	90 43	+ 32 17	89 17	32 17	89 20
25	221	269 56	90 23	- [89 56]	89 37	- 90 0	89 20
26	201						

Наблюденія нанесены графически на проэкции. Изъ нея видно, что лучшими наблюденіями являются 1), 15), 24) и 25).

Грани 1) приписываю символъ (111), грани 15) -- (001), а изъ грани 24) вывожу для угла  $\alpha$  величину 89° 20' и притомъ грани 23) приписываю символъ (201).

При этихъ условіяхъ ориентировка соответствуетъ той, которая указана въ заголовкѣ и по отношенію которой выведены уравненія 22) и 23).

Для большей точности эти основныя наблюденія повторены нѣсколько разъ, и въ среднемъ найдено

	$A$	$\alpha$
для грани	(111) . . . . . $35^{\circ} 11'$	$63^{\circ} 37\frac{1}{2}'$
» »	(201) . . . . . —	$89 20'$

На основаніи этихъ чиселъ выведемъ уравненія проэктивности. Придавъ послѣднимъ форму

$$p_0' : p_1' : p_2' = A_1 p_0 : p_1 : A_2 p_0 + A_3 p_2$$

найдемъ проэктивныя символы

грани	(201) . . . . . $2A_1$	0	$2A_2 + A_3$
»	(111) . . . . . $A_1$	1	$A_2 + A_3$

Изъ наблюденій же выводимъ проэктивныя символы

грани (111)	$\frac{\text{sn}(63^{\circ} 37\frac{1}{2}')}{\text{cotg}(35^{\circ} 11')}$	1	$\frac{\text{cs}(63^{\circ} 37\frac{1}{2}')}{\text{cotg}(35^{\circ} 11')}$
» (201)	$\text{sn}(89 20)$	0	$\text{cs}(89 20)$

Поэтому  $A_1 = \frac{\text{sn}(63^{\circ} 37\frac{1}{2}')}{\text{cotg}(35^{\circ} 11')}$ ;  $A_3 = \text{cs}(89^{\circ} 20') - \frac{\text{cs}(63^{\circ} 37\frac{1}{2}')}{\text{cotg}(35^{\circ} 11')}$

$$A_2 = \frac{\text{cs}(63^{\circ} 37\frac{1}{2}')}{\text{cotg}(35^{\circ} 11')} - A_3$$

Произведя вычисленіе, находимъ окончательно

и  $p_0' : p_1' : p_2' = 0,6316 p_0 : p_1 : -0,3017 p_0 + 0,6150 p_2$  a)

и  $r_0' : r_1' : r_2' = 1,5833 p_0 + 0,7767 p_2 : p_1 : 1,6260 p_2$  b)

а отсюда также

и  $p_0 : p_1 : p_2 = 1,5833 p_0' : p_1' : 1,6260 p_0' - 0,7767 p_2'$  c)

и  $r_0 : r_1 : r_2 = 0,6316 r_0' - 0,3017 r_2' : r_1' : 0,6150 r_2'$  d)

При вычисленіи по этимъ формуламъ неслѣдуетъ упускать изъ виду порядка и расположенія осей координатъ. Теперь проэктивный символъ опредѣлится изъ наблюденія отношеніемъ

$$\text{sn } \alpha : \text{cot } A : \text{cs } \alpha.$$

Столбцы 7 и 8 вычислены по формуль a).

Сравнение этих столбцов со столбцами 5) и 6) ясно указывает на значительные отклонения, зависящие как от неточности наблюдений, так и от неправильностей в образовании граней.

Здесь имеем в пояс [010] целый ряд сомнительных граней (6, 7, 8, 9, 21, 22). Из них две последние образуют с ближайшими гранями (100) и (100) угол около 3°. Таким образом, и здесь имеем место отклонение между гранями, отмеченное у топаза.

Наблюденный кристалл представляет комбинацию.

(001) (100) (201) (102) (101) (111) (211) (221) (011) (012) (110) (210) (010)  
(10 - 1 .. 0) (?).

Вид симметрии: ромбопризматический.

Еще удобнее кристаллы моноклинной системы ориентировать таким образом, чтобы в проекции ось [001] (вертикальная) имела вертикальное положение. В таком случае полосы граней этого пояса расположатся на горизонтальной оси, и грани (100) будут соответствовать координаты (90° 0', 90° 0'). В этом случае наблюдению, давшему координаты  $A, \alpha$ , соответствует грань, проективный символ которой

$$\text{sn } \alpha; \cot A; \text{cs } \alpha.$$

Уравнения проективности, очевидно, имеют вид

$$\frac{p_0'}{p_1'} = \frac{A_1 p_0 + A_2 p_2}{p_1}$$

$$\frac{p_2'}{p_3'} = \frac{A_3 p_2}{A_3 p_2}$$

Мы определим их коэффициенты, если сопоставим выводимые по ним проективные символы с теми, что прямо выводятся из наблюдений, а именно:

проективный символ грани (001)  $A_2; 0; A_3$   
а из наблюдений  $\text{sn } (25^\circ 26\frac{1}{2}') 0 \text{cs } (-25^\circ 26\frac{1}{2}')$

проективный символ грани (211)  $2A_1 + A_2; 1; A_3$   
а из наблюдений  $\text{sn } 64^\circ 2\frac{1}{2}'; \cot 51^\circ 37'; \text{cs } 64^\circ 2\frac{1}{2}'.$

Отсюда

$$A_3 = \frac{\text{cs } 64^\circ 2\frac{1}{2}'}{\cot 51^\circ 37'} = 0,5526$$

$$A_2 = -A_3 \text{tg } 25^\circ 26\frac{1}{2}' = -0,2629$$

$$A_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{\text{sn } 64^\circ 2\frac{1}{2}'}{\cot 51^\circ 37'} - A_2 \right) = 0,6990$$

Итакъ, искомыя уравненія проэктвности

$$\frac{p_0'}{p_1'} = \frac{0,6990 p_0 - 0,2629 p_2}{p_1} \quad \text{a)}$$

и

$$\frac{p_2'}{p_1'} = \frac{1,4306 r_0}{r_1} \quad \text{b)}$$

И обратно

$$\frac{p_0}{p_2} = \frac{1,4306 p_0' + 0,6807 p_2'}{1,8097 p_2'} \quad \text{c)}$$

и

$$\frac{r_0}{r_2} = \frac{0,6990 r_0'}{-0,2629 r_0' + 0,5526 r_2'} \quad \text{d)}$$

На основаніи уравненій а) и б) составлены графическіе элементы элипта табл. II фиг. 6.

### 8. Эвкладъ <sup>1)</sup> (съ Урала).

(Линейные размѣры 22 mm. × 14 mm. × 6 mm.).

#### Ориентировка и юстировка по поясу [001] и по грани (100).

№	Символъ.	Сирья наблюденія.		Перечисленіе.		Вычислено.	
		A	α	A	α	A	α
1	100	270° 2'	0° 0'	89° 58'	0° 0'	90° 0'	0° 0'
2	110	270 0	19° 15' до 23° 20'	90 0	(-19° 15') - (-23° 20')	90 0	-17 40
3	120	269 55½	32 30	[89 55½]	-32 30	90 0	-32 29
4	010	269 57	90 1	-[89 57]	89 59	-90 0	90 0
5	120	270 0	147 31½	-90 0	32 28½	-90 0	32 29
		269 58	149 2	-[89 58]	30 58		
6	?	270 0	152 58	-90 0	27 2		
7	110	270 0	160 15 до 160 38	-90 0	19° 45' - 19° 22'		
		270 0	161 25 - 161 55	-90 0	18 35 - 18 5	-90 0	17 40
8	100	270 0	179 48 - 180 0	-90 0	0 12 - 0 0	-90 0	0 0
9	?	269 54	189 55	-[89 54]	9 55		
10	110	270 0	195 25 - 196 15	-90 0	(-15 25) - (-16 15)		
		270 0	197 40 - 198 50	-90 0	(-17 40) - (-18 50)	-90 0	-17 40
11	?	270 0	200 50 - 207 30	-90 0	(-20 50) - (-27 30)		
12	120	270 0	212 29	-90 0	-32 29	-90 0	-32 29
13	010	270 ½	270 1	89 59½	89 59	90 0	90 0
14	120	269 58	327 31	[89 58]	32 29	90 0	32 29
15	?	270 0	337 0 - 339 40	90 0	23 0 - 20 20		

<sup>1)</sup> Экземпляръ подаренъ К. Д. Хрущевымъ національному музею въ Вашингтонѣ.

Кромѣ этихъ граней наблюдались еще 2 грани, коихъ координаты ( $309^{\circ} 49'$ ;  $230^{\circ} 33'$ ) и ( $314^{\circ} 21\frac{1}{2}'$ ;  $142^{\circ} 30'$ ).

Но такъ какъ эти большія грани носятъ на себѣ ясныя признаки шлифовки, то наблюдения эти нельзя принимать въ основаніе для вычисленій.

Въ кристаллѣ наблюдаются еще три грани пояса [100] (?); но по причинѣ ихъ матовости и шероховатости грани эти не наблюдаются путемъ отраженія.

На этомъ основаніи я не пытаюсь выводить уравненія проэктивности. Определеніе символовъ и вычисленіе угловъ (столбцовъ 7 и 8) производится по методу зональных вычисленій.

Въ основаніе ихъ кладу одно изъ извѣстныхъ выраженій рачіональности ангармоническихъ отношеній 4-хъ граней одного пояса, которое принято писать въ такой формѣ <sup>1)</sup>

$$\frac{\text{sn}(PP'')}{\text{sn}(P'P''')} : \frac{\text{sn}(PP''')}{\text{sn}(P'P''')} = (pp'p''p''') = \frac{(pp'')i}{(p'p''')i} : \frac{(pp''')i}{(p'p'')i}$$

гдѣ  $P, P', \dots$  нормали къ гранямъ  $p, p', \dots$ , а  $i$  одно изъ чиселъ 0, 1 или 2.

Выписывая вторую часть равенства въ полномъ видѣ, и придавая  $i$  значеніе 2, находимъ

$$(pp'p''p''') = \frac{(p_0p_1'' - p_1p_0''')}{(p_0'p_1'' - p_1'p_0''')} : \frac{(p_0p_1''' - p_1p_0''')}{(p_0'p_1''' - p_1'p_0''')}$$

Придавъ, примѣняясь къ данному случаю, гранямъ  $p$  и  $p'$  символы (100) и (010) и принявъ во вниманіе, что грани эти образуютъ между собою прямой уголъ, вслѣдствіе чего  $\text{sn}(P'P'') = \text{cs}(PP'')$  и  $\text{sn}(P'P''') = \text{cs}(PP''')$ , находимъ

$$\text{tg}(PP'') : \text{tg}(PP''') = p_1''p_0''' : p_0''p_1'''$$

Придавъ еще грани  $P'''$  символъ (120) и замѣтивъ, что въ такомъ случаѣ уголъ  $PP''' = 32^{\circ} 29'$ , находимъ окончательно

$$\text{tg}(PP'') = \frac{p_1'' \text{tg}(32^{\circ} 29')}{2 p_0''}$$

И наоборотъ

$$\frac{p_1''}{p_0''} = \frac{2 \text{tg}(PP'')}{\text{tg}(32^{\circ} 29')}$$

По этимъ двумъ формуламъ производились вычисленія. При этомъ для рефлексовъ 6, 9, 11 и 15 получаются числа, столь отдаленныя отъ простѣйшихъ цѣлыхъ чиселъ, что было бы неестественно вычисленные символы принимать за истинныя символы граней.

<sup>1)</sup> Второй згдѣ по аналитич. кристаллогр. § 14. Также Liebisch Geometrische Krystallogr. § 1, IV Kap.

Весьма вѣроятно, что напр. рефлексъ 15) соответствуетъ грани (110). Въ такомъ случаѣ, пришлось бы принять весьма значительныя отклоненія въ положеніи граней отъ ихъ нормальнаго положенія. Впрочемъ, и многія другія наблюденія не оставляютъ никакого сомнѣнія въ значительности этихъ отклоненій. Если же и рефлексъ 6) относить къ такимъ аномальнымъ отклоненіямъ, то для нихъ получается громадная величина, доходящая почти до  $5\frac{1}{2}$  градусовъ.

Наблюденная комбинація:

$$(120); (110); (010); (100)$$

Видъ симметріи: ромбопризматическій.

### Триклинная подсистема.

#### 9. Анортитъ (съ Везувія).

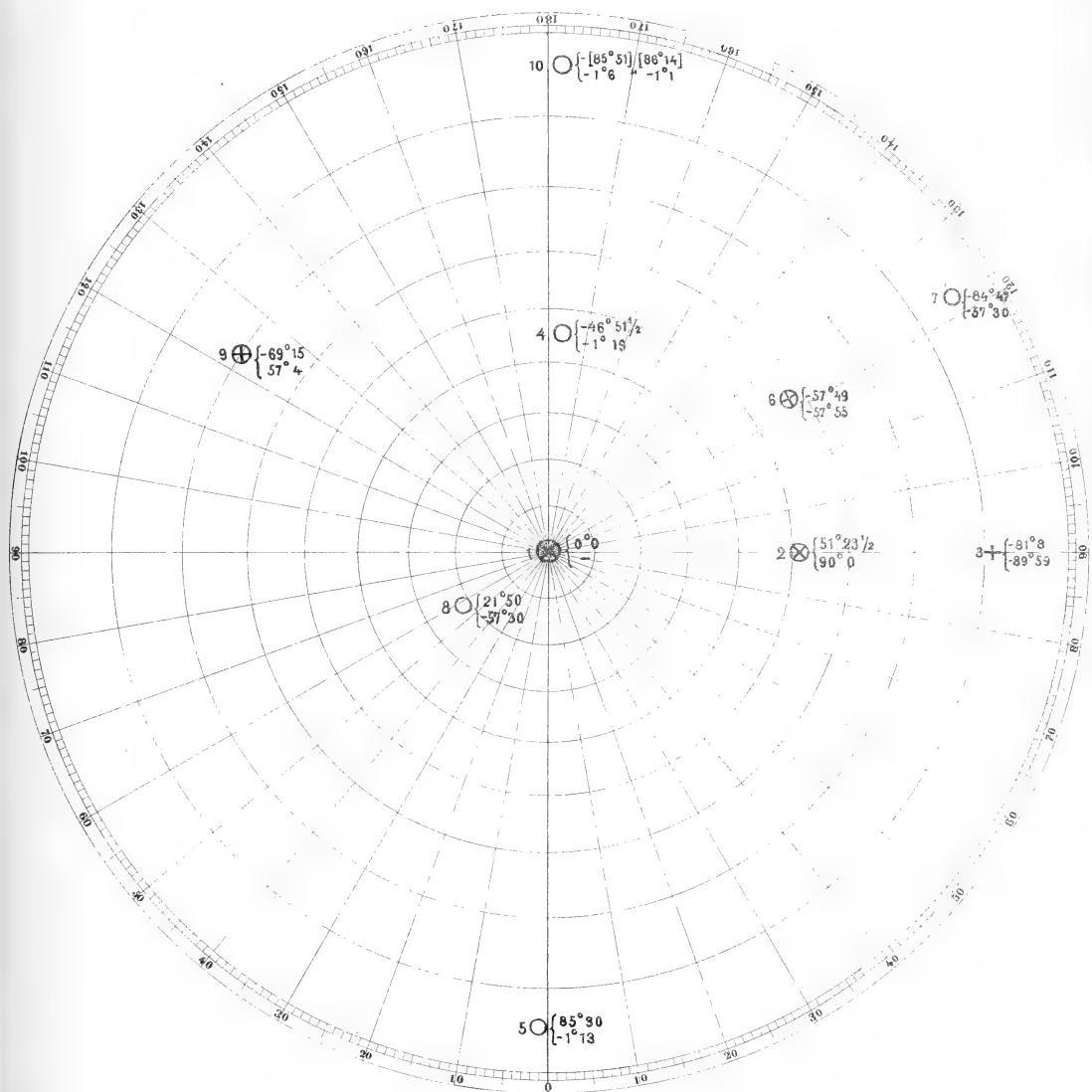
(Размѣры 6 mm.  $\times$  4 $\frac{1}{2}$  mm.  $\times$  1 $\frac{1}{2}$  mm.).

Ориентировка по ребровому поясу (грані) (001) и по ребру [100]. Юстировка по грани (001) и по ребру [010].

№	Символъ.	С ы р ы я   н а б л ю д е н і я .								Перечисленіе.		Выч. по уравн. проэкт.	
		Уголь А.				Уголь $\alpha$ .				А	$\alpha$	А	$\alpha$
		1-е.	2-е.	3-е.	Среднее.	1-е.	2-е.	3-е.	Среднее.				
1	001	0° 0'	+ 0° 0'	+ 0° 0'	0° 0'	—	—	—	—	0° 0'	—	0° 0'	—
2	101	308 37	— 0 $\frac{1}{2}$	— 0 $\frac{1}{2}$	308 36 $\frac{1}{2}$	180° 0'	+ 0° 0'	+ 0° 0'	180° 0'	51 23 $\frac{1}{2}$	90° 0'	51 23 $\frac{1}{2}$	90° 0'
3	201	278 53	— 0 3	— 0 1	278 52	180 0	— 0 1	— 0 3	179 59	— 81 8	— 89 59	— 81 13	— 90 0
4	021	46 54	— 0 4	— 0 5	46 51 $\frac{1}{2}$	271 19	— 0 $\frac{1}{2}$	+ 0 1	271 19	— 46 51 $\frac{1}{2}$	— 1 19	— 46 42	— 1 28
5	010	274 31	— 0 2	— 0 1	274 30	271 12	+ 0 3	— 0 1	271 13	85 30	— 1 13	86 5	— 1 28
6	111	57 48	0 1	+ 0 1	57 49	327 54	+ 0 1 $\frac{1}{2}$	+ 0 2 $\frac{1}{2}$	327 55	— 57 49	— 57 55	— 57 49	— 57 55
7	221	84 47	— 0 1	+ 0 1	84 47	327 27	+ 0 5	+ 0 3	327 30	— 84 47	— 57 30	— 84 44	— 57 55
8	112	338 7	+ 0 5	+ 0 3	338 10	327 26	+ 0 6	+ 0 5	327 30	21 50	— 57 30	21 6	— 57 55
9	110	290 44	+ 0 1	+ 0 1 $\frac{1}{2}$	290 45	32 56	+ 0 0	+ 0 0	32 56	— 69 15	57 4	— 69 15	57 4
10	010	265 52	— 0 1	— 0 1	265 51	91 2	+ 0 4	+ 0 8	91 6	— 94 9	— 1 6		
		266 13	+ 0 1	+ 0 2	266 14	91 2	— 0 2	— 0 2	91 1	— 93 46	— 1 1	93 55	— 1 28

Наблюденія эти нанесены графически на проэкции. Изъ нея мы усматриваемъ, что лучшіе рефлексы дали грани 1), 2), 6) и 9). Мы и положимъ соответствующія числа въ основаніе вычисленій.





### 9. АНОРТИТЬ. (ANORTHITE).

Орієнтовка по ребровому поясу (граві) (001) и по ребру [100].



Грани первой мы, по принятому, придаем символъ (001), грани 2-й ( $\bar{1}01$ ), грани 6-й ( $\bar{1}\bar{1}1$ ) и грани 9-й ( $\bar{1}\bar{1}0$ ).

Такъ какъ въ данномъ случаѣ кристаллъ при наблюдении ориентированъ по грани (001) и по ребру [010], то уравненія проэктивности для реберъ будутъ имѣть видъ

$$\frac{r_1'}{r_2'} = \frac{A_1 r_1 + A_2 r_0 + A_3 r_2}{A_4 r_0 + A_5 r_2} \quad \text{а для граней} \quad \frac{p_1'}{p_2'} = \frac{B_1 p_1 + B_2 p_0}{B_3 p_1 + B_4 p_0 + B_5 p_2}$$

Приложивъ эти уравненія, мы должны всякій разъ перемѣнить порядокъ первыхъ двухъ индексовъ символа. Означая новые символы двойными скобками, мы найдемъ, что грани

$$(\bar{1}01) = ((\bar{0}\bar{1}1)) \text{ соотвѣтствуетъ проэкт. символъ } 0; -B_2; -B_4 + B_5$$

или  $0; 1; \frac{B_4 - B_5}{B_2}$

а изъ наблюдений  $\text{cs } (90^\circ 0'); \text{sn } (90^\circ 0'); \text{cot } (51^\circ 23\frac{1}{2}')$

Мы прибавили теперь  $90^\circ$  къ углу  $\alpha$  съ тою цѣлью, чтобы ребру, имѣющему проэктивный (и истинный) символъ [010] = ([100]) теперь соотвѣтствовали бы координаты  $90^\circ 0'; 0^\circ 0'$ .

Также найдемъ, что грани

$$(\bar{1}\bar{1}0) = ((\bar{1}\bar{1}0)) \text{ соотвѣтств. проэкт. символъ } -1; -B_4 + B_2; -B_3 + B_4$$

или  $1; B_1 - B_2; B_3 - B_4$

а изъ наблюдений  $1; \text{tg } 57^\circ 4'; -\frac{\text{cot } 69^\circ 45'}{\text{cs } 57^\circ 4'}$

Наконецъ, грани

$$(\bar{1}\bar{1}1) = ((\bar{1}\bar{1}1)) \text{ соотвѣтствуетъ проэкт. символъ } 1; B_1 + B_2; B_3 + B_4 - B_5$$

а изъ наблюдений  $1; -\text{tg } 57^\circ 55'; -\frac{\text{cot } 57^\circ 49'}{\text{cs } 57^\circ 65'}$

Отсюда вычисляемъ

$$\begin{aligned} B_1 &= -0,0257 \\ B_2 &= -1,5695 \\ B_3 &= 0,0685 \\ B_4 &= 0,7688 \\ B_5 &= 2,0221 \end{aligned}$$

Итакъ

$$\frac{p_1'}{p_0'} = \frac{p_1}{-0,0257 p_1 - 1,5695 p_0} \quad \text{a)}$$

$$\frac{p_2'}{p_0'} = \frac{0,0685 p_1 + 0,7688 p_0 + 2,0221 p_2}{-0,0257 p_1 - 1,5695 p_0}$$

а отсюда

$$\frac{r_1'}{r_0'} = \frac{2,0221 r_1 - 0,0331 r_0 - 0,0559 r_2}{-1,2884 r_0 + 0,4898 r_2} \quad \text{b)}$$

$$\frac{r_2'}{r_0'} = \frac{0,0559 r_1 + 0,4898 r_2}{r_2}$$

Найдя такимъ образомъ уравненія проэктвности особаго типа, мы легко перейдемъ, пользуясь формулами 49), къ уравненіямъ обыкновеннаго типа. Для этого нужно определить сначала величины  $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, s_1$  и  $s_3$ .

Вычислимъ сначала  $c_1$ .

$$\begin{array}{l} \text{Проективный символъ ребра } [010] = ([100]) : \quad 1 \quad 0 \quad 0 \\ \text{»} \quad \text{»} \quad \text{»} \quad [001] = ([001]) : \quad -0,0559 \quad 0,4898 \quad 1 \\ \text{»} \quad \text{»} \quad \text{пояса (грани)} \quad (100) \quad - \quad 0 \quad -1 \quad 0,4898 \end{array}$$

$$\text{Итакъ} \quad c_1 = -\frac{0,0559}{\sqrt{1 + (0,4898)^2}} = -0,05020 = \cot(92^\circ 52')$$

$$\text{а отсюда также} \quad \lg s_1 = \lg \sin(92^\circ 52') = 1,999456$$

Для вычисления  $c_3$  опредѣлимъ

$$\begin{array}{l} \text{проективный символъ ребра } [001] = ([001]) : \quad -0,0559 \quad 0,4898 \quad 1 \\ \text{»} \quad \text{»} \quad \text{»} \quad [011] = ([101]) : \quad +2,0780 \quad -0,4899 \quad -1 \\ \text{»} \quad \text{»} \quad \text{пояса (грани)} \quad \quad \quad 0 \quad -2,0221 \quad 0,4698 \quad 3,0221 \end{array}$$

Поэтому

$$c_3 = -\frac{0,0559 \cdot 2,0780 + (0,4898)^2 + 1}{2,0221 \sqrt{1 + (0,4898)^2}} = -0,6023$$

$$\text{Отсюда} \quad \log s_3 = 0,067238.$$

Для вычисления  $c_2$  опредѣлимъ

$$\begin{array}{l} \text{проективный символъ грани } (100) = ((010)) : \quad 0 \quad -1,5695 \quad 0,7686 \\ \text{»} \quad \text{»} \quad \text{»} \quad (001) = ((001)) : \quad 0 \quad 0 \quad 1 \\ \text{»} \quad \text{»} \quad \text{пояса} \quad \quad \quad 1,5695 \quad (1 \ 0 \ 0) \end{array}$$

Поэтому

$$c_2 = \frac{0,7688}{1,5695} = 0,48984 = \log \cot 72^\circ 50'$$

Для вычисления  $c_4$  определимъ

проективный символъ грани (100) = ((010)) : 0 — 1,5695 0,7688  
 »       »       »   (010) = ((100)) : 1 — 0,0257 0,0685  
 »       »       »   пояса — 1,5695 · 0,0685 + 0,0257 · 0,7688; 0,7688; 1,5695

Отсюда

$$c_4 = \frac{1,5695 \cdot 0,0257 + 0,7688 \cdot 0,0685}{\sqrt{(1,5695 \cdot 0,0685 - 0,0257 \cdot 0,7688)^2 + (0,7688)^2 + (1,5695)^2}} = 0,05315 = \cot 86^\circ 57 \frac{1}{2}'.$$

Наконецъ, для вычисления  $c_5$  определимъ

проективный символъ грани (100) = ((010)) : 0 — 1,5695 0,7688  
 »       »       »   (111) = ((111)) : 1 — 1,5952 2,8594  
 »       »       »   пояса 1,5952 · 0,7688 — 1,5695 · 2,8594; 0,7688; 1,5695

Отсюда

$$c_5 = \frac{1,5695 \cdot 1,5952 + 0,7688 \cdot 2,8594}{\sqrt{(1,5952 \cdot 0,7688 - 1,5695 \cdot 2,8594)^2 + (0,7688)^2 + (1,5695)^2}} = 1,2707.$$

Опредѣливъ величины  $c_1, c_2 \dots$ , мы теперь безъ труда вычислимъ по формуламъ 19) искомыя коэффициенты уравненій проективности.

Такимъ образомъ найдемъ для граней

$$\frac{p_0'}{p_1'} = \frac{0,9637 p_0 + 0,02934 p_1 + 0,49045 p_2}{0,5521 p_1 + 0,0502 p_2} \quad a')$$

$$\frac{p_1'}{p_2'} = \frac{p_2}{p_2}$$

а отсюда, въ свою очередь, для реберъ

$$\frac{r_0'}{r_1'} = \frac{r_0}{-0,0531 r_0 + 1,7452 r_1} \quad b')$$

$$\frac{r_1'}{r_2'} = \frac{r_2}{-0,4902 r_0 + 0,0876 r_1 + 0,9637 r_2}$$

и обратно

$$\frac{p_0}{p_1} = \frac{p_0' - 0,0531 p_1' - 0,4902 p_2'}{1,7452 p_1' - 0,0876 p_2'} \quad c')$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{0,9637 p_2'}{p_2'}$$

$$\begin{aligned} r_0 &= 0,9637 r_0' \\ r_1 &= \frac{0,02934 r_0' + 0,5521 r_1'}{0,49045 r_0' + 0,0502 r_1' + r_2'} \\ r_2 &= \end{aligned} \quad d')$$

Согласно съ этими уравненіями обыкновеннаго типа составлена діаграмма для ауритита (табл. III, фиг. 11).

Наблюденная комбинація выразится символомъ:

$$\{001\}; [1\bar{1}0]; [010]; [\bar{1}01]; [\bar{1}\bar{1}1]; [\bar{2}01]; [0\bar{2}1]; [\bar{2}\bar{2}1]; [112].$$

Видъ симметріи: пинакоидальный.

#### 10. Аксинитъ (изъ Олонецкой губерніи).

Кристаллъ извлеченъ изъ известняка раствореніемъ породы въ соляной кислотѣ.

(Размѣры 5 мм. × 4 мм. × 2 мм.).

Ориентирована и юстирована по ребровому поясу (границы) (001) и по ребру [100].

№	Символь.	Сырья наблюденія.						Перечисленіе.		Вычислено по уравн. проэктивности.	
		A			α			A	α	A	α
		1-е.	2-е.	Среднее.	1-е.	2-е.	Среднее.				
1	001	0° 0'	—	0° 0'	—	—	—	0° 0'	—	0° 0'	—
2	$\bar{1}01$	45 20	+0° 0'	45 20	351° 25'	+0° 41'	351° 27'	—45 20	8° 33'	—45 20	8° 33'
3	$\bar{1}12$	33 15	+0 1	33 15½	48 0	—0 5	47 57½	—33 15½	—47 57½	—33 8½	—47 58
4	$\bar{2}23$	39 53	+0 0	39 53	48 2	—0 5	47 59½	—39 53	—47 59½	—39 54	—47 58
5	$\bar{1}11$	49 17	+0 1	49 17½	48 9	—0 3½	48 7	—44 17½	—48 7	—49 17½	—47 58
6	011	44 22	+0 ½	44 22	90 0	—0 2	89 59	—44 22	—89 59	—44 22	—90 0
7	012	28 40	+0 0	28 40	90 0	—0 6	89 57	—28 40	—89 57	—28 40	—90 0

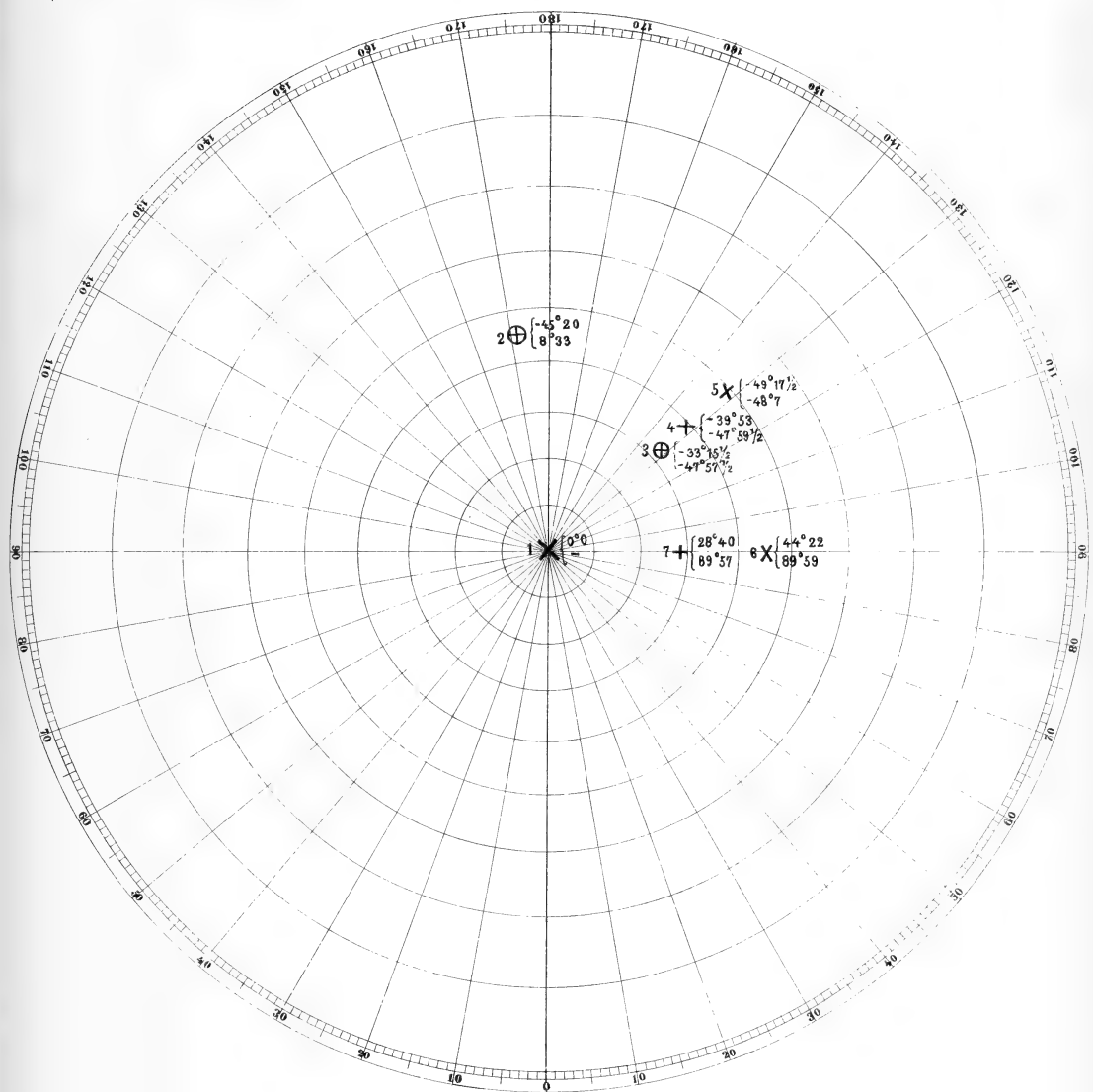
Наблюденія нанесены графически на проэкціи. Изъ нея мы усматриваемъ, что удовлетворительные рефлексы дали грани 1), 2), 5) и 6). Мы и положимъ соответствующія числа въ основаніе <sup>1)</sup>, придавъ сначала произвольно грани 1) символъ (001).

» 6) » (011).

» 5) » ( $\bar{1}11$ ).

» 2) » ( $\bar{1}01$ ).

<sup>1)</sup> Грань 3) находится въ одномъ поясѣ съ 6) и 2), а потому и не пригодна для вычисленія элементовъ кристалла.



### 10. АКСИНИТЪ (АХИНИТЕ).

Орієнтовка по ребровому поясу (грані) (001) и ребру [100].





Так как теперь кристалл ориентирован по ребровому поясу (границ) (001) и по ребру [100], то уравнения проективности для ребер теперь имеют вид

$$\frac{r'_0}{r'_1} = \frac{a_1 r_0 + a_2 r_1 + a_3 r_2}{a_4 r_1 + a_5 r_2} \quad \text{и для граней} \quad \frac{p'_0}{p'_1} = \frac{b_1 p_0 + b_2 p_1}{b_3 p_0 + b_4 p_1 + b_5 p_2}$$

Поэтому мы найдем, что грани  $(\bar{1}01)$  принадлежит проективный символ

$$-1; -b_1; -b_3 + b_5,$$

а из наблюдений

$$\text{cs } (8^\circ 33'); \text{ sn } (8^\circ 33'); \text{ cot } (-45^\circ 20')$$

или

$$-1; -\text{tg } (8^\circ 33'); \frac{\text{cot } (45^\circ 20')}{\text{cs } (8^\circ 33')},$$

грани  $(\bar{1}11)$  принадлежит проективный символ,

$$-1; -b_1 + b_2; -b_3 + b_4 + b_5,$$

а из наблюдений

$$-1; \text{tg } (47^\circ 58'); \frac{\text{cot } (49^\circ 17\frac{1}{2}')}{\text{cs } (47^\circ 58')},$$

грани (011) принадлежит проективный символ,

$$0; b_2; b_4 + b_5,$$

или

$$0; 1; \frac{b_4 + b_5}{b_2},$$

а из наблюдений

$$0; 1; \text{cot } 44^\circ 22',$$

Для определения коэффициентов  $b$  мы будем, следовательно, иметь следующие равенства:

$$b_1 = \text{tg } (8^\circ 33') = 0,15034$$

$$b_2 = b_1 + \text{tg } (47^\circ 58') = 0,15034 + 1,1093 = 1,2596$$

$$b_3 = b_2 \text{cot } (44^\circ 22') - \frac{\text{cot } (49^\circ 17\frac{1}{2}')}{\text{cs } (47^\circ 58')} = 1,2878 - 1,2850 = 0,0028$$

$$b_5 = b_3 + \frac{\text{cot } (45^\circ 20')}{\text{cs } (8^\circ 33')} = 0,0028 + 0,9996 = 1,0024$$

$$b_4 = b_2 \text{cot } (44^\circ 22') - b_5 = 1,2878 - 1,0024 = 0,2854$$

Такимъ образомъ, уравненія проэктивности для граней аксинита будутъ

$$\begin{aligned} \frac{p_0'}{p_1'} &= \frac{p_0}{0,1503 p_0 + 1,2596 p_1} \\ \frac{p_0'}{p_2'} &= \frac{p_0}{0,0028 p_0 + 0,2854 p_1 + 1,0024 p_2} \end{aligned} \quad \text{a)}$$

Эти уравненія отбѣняютъ то обстоятельство, что при принятой мимоходомъ ориентировкѣ углы аксинита довольно близки къ угламъ кубооктаэдрическаго кристалла.

Изъ а) выведемъ для реберъ

$$\begin{aligned} \frac{r_0'}{r_1'} &= \frac{1,0024 r_0 - 0,1196 r_1 + 0,0313 r_2}{0,7958 r_1 - 0,2266 r_2} \\ \frac{r_1'}{r_2'} &= r_2 \end{aligned} \quad \text{b)}$$

И наоборотъ, для граней

$$\begin{aligned} \frac{p_0}{p_1} &= \frac{1,0024 p_0'}{-0,1196 p_0' + 0,7958 p_1'} \\ \frac{p_0}{p_2} &= \frac{0,0313 p_0' - 0,2266 p_1' + p_2'}{p_2'} \end{aligned} \quad \text{c)}$$

и для реберъ

$$\begin{aligned} \frac{r_0}{r_1} &= \frac{r_0' + 0,1503 r_1' + 0,0028 r_2'}{+ 1,2596 r_1' + 0,2854 r_2'} \\ \frac{r_1}{r_2} &= \frac{1,0024 r_2'}{r_2'} \end{aligned} \quad \text{d)}$$

По уравненіямъ с) вычислены индексы символовъ столбца 2-го, а по уравненіямъ а) проэктивные символы и, далѣе, кристаллографическія координаты столбцовъ 11-го и 12-го.

Вообще, если мы означимъ новые индексы чрезъ  $(p_0, p_1, p_2)$ , а прежніе чрезъ  $(p_0', p_1', p_2')$ , то между тѣми и другими должно существовать соотношеніе

$$\begin{aligned} p_0' &= a_{00} p_0 + a_{01} p_1 + a_{02} p_2 \\ p_1' &= a_{10} p_0 + a_{11} p_1 + a_{12} p_2 \\ p_2' &= a_{20} p_0 + a_{21} p_1 + a_{22} p_2 \end{aligned}$$

Для опредѣленія 8 коэффициентовъ  $a_{ik}$  (изъ 9-ти одинъ произвольный) нужны 8 условныхъ равенствъ. Эти условныя равенства выводятся изъ того, что

прежній символъ	(001)	теперь замѣнимъ	( $\bar{1}10$ )
»	»	(101)	» (111)
»	»	(111)	» (111)
»	»	(011)	» (110)

Отсюда выводимъ

$$\begin{array}{ll}
 1) 0 = a_{00} - a_{01} & 2) 0 = a_{10} - a_{11} \\
 3) -1 = \frac{a_{00} - a_{01} + a_{02}}{a_{20} - a_{21} + a_{22}} & 4) 0 = a_{10} - a_{11} + a_{12} \\
 5) -1 = \frac{a_{00} + a_{01} + a_{02}}{a_{20} + a_{21} + a_{22}} & 6) 1 = \frac{a_{10} + a_{11} + a_{12}}{a_{20} + a_{21} + a_{22}} \\
 7) 0 = a_{00} + a_{01} & 8) 1 = \frac{a_{10} + a_{11}}{a_{20} + a_{21}}
 \end{array}$$

Изъ этихъ 8) равенствъ выводимъ искомое уравненіе преобразованія символовъ:

$$p'_0 : p'_1 : p'_2 = -2p_2 : (p_0 + p_1) : 2p_0 \quad \text{A)}$$

а отсюда прямо вычисляемъ для реберъ

$$r'_0 : r'_1 : r'_2 = -r_2 : 2r_1 : +r_0 - r_1 \quad \text{B)}$$

Теперь для того, чтобы вычислить коэффициенты уравненій проэктивности при новой ориентировки останется воспользоваться формулами 19), замѣнивъ новые символы по формуламъ с) и d).

Мы получаемъ именно, что теперь

ребро $x_2$	вмѣсто символа	[010]	получить символъ	[021]
» $x_3$	»	[001]	»	[100]
» $r$	»	[011]	»	[121]
грань $X_1$	»	(100)	»	(012)
» $X_2$	»	(010)	»	(010)
» $X_3$	»	(001)	»	(100)
» $O$	»	(111)	»	(111)

Поэтому

$$\begin{array}{l}
 c_1 = \cot(x_2 x_3) = 0,1304 \text{ и } a_3 = -c_1 = -0,1304 \\
 \log s_1 = \log \operatorname{sn}(x_2 x_3) = \bar{1},996335 \\
 c_3 = \cot(x_3 r) = -0,3527, \quad a_4 = c_1 - c_3 = 0,4831
 \end{array}$$

и

$$\begin{array}{l}
 \log s_3 = \log \operatorname{sn}(x_3 r) = \bar{1},974525 \\
 c_2 = \cot(X_0 X_2) = -0,07424 \text{ и } a_3 = c_2/s_1 = -0,0749 \\
 \log c_4 = \log \cot(X_0 X_1) = \bar{1},94798 \text{ и } a_2 = c_4 \cdot a_4 = 0,4286
 \end{array}$$

Наконецъ

$$\log c_3 = \log \cot (OX_0) = 0,49478 \text{ и } a_1 = c_3/s_3 - a_2 - a_3 = 1,3069.$$

Итакъ, уравненія обыкновеннаго типа будутъ для граней

$$\frac{p_0'}{p_1'} = \frac{1,3069 p_0 + 0,4286 p_1 - 0,0749 p_2}{0,4831 p_1 - 0,1304 p_2} \quad \text{a)}$$

$$\frac{p_2'}{p_1'} = \frac{p_2}{p_1}$$

и для реберъ

$$\frac{r_0'}{r_1'} = \frac{r_0}{-0,8871 r_0 + 2,7051 r_1}$$

$$\frac{r_2'}{r_1'} = \frac{-0,0408 r_0 + 0,3526 r_1 + 1,3069 r_2}{-0,0408 r_0 + 0,3526 r_1 + 1,3069 r_2} \quad \text{b)}$$

И обратно, для граней

$$\frac{p_0}{p_1} = \frac{p_0' - 0,8871 p_1' - 0,0408 p_2'}{2,7051 p_1' + 0,3526 p_2'}$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{1,3069 p_2'}{1,3069 p_2'} \quad \text{c)}$$

и для реберъ

$$\frac{r_0}{r_1} = \frac{1,3069 r_0'}{0,4286 r_0' + 0,4831 r_1'}$$

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{-0,0749 r_0' - 0,1304 r_1' + r_2'}{-0,0749 r_0' - 0,1304 r_1' + r_2'} \quad \text{d)}$$

При новой ориентировкѣ кристалла наблюдаемая комбинація выразится:

$$[110] \quad [1\bar{1}0] \quad [1\bar{1}1] \quad [201] \quad [312] \quad [100]$$

Видъ симметріи: пинакоидальный.

Разсматриваніе таблицы наблюденій и сравненіе чиселъ наблюденныхъ съ числами вычисленными показываетъ слишкомъ большое несогласіе, хотя числа самой таблицы даютъ основаніе и о сужденіи о причинахъ несогласія. Мы видимъ, что грани 1, 3, 4 и 5, которыя по приписаннымъ имъ символамъ должны находиться въ одномъ поясѣ, на самомъ дѣлѣ чувствительно расходятся, и даже слишкомъ чувствительно, какъ это показываетъ столбецъ 10), гдѣ вмѣсто одинаковыхъ угловъ  $\alpha$  мы замѣчаемъ измѣненіе отъ  $47^\circ 57\frac{1}{2}'$  до  $48^\circ 7'$ . Мы видимъ, слѣдовательно, что неточность кроется здѣсь не въ юстированіи и не въ вычисленияхъ, а вытекаетъ изъ самой природы вещей, имѣетъ основаніе въ несовершенствѣ образованія граней.

Чтобы возможно нагляднѣе выразить эту неточность, и показать, какъ она отражается на величинахъ коэффициентовъ уравненій проэктивности, я произвелъ наблюденія при другой ориентировкѣ кристалла, а именно той самой, которая соответствуетъ уравненіямъ a') — d'), т. е. ориентироваль по поясу [001] и по грани (100). Для юстированія служили собственно грани 4) и 6).

Получилась следующая таблица:

№	Символ.	С ы р ы н а б л ю д е н и я .								Перечисление.		Внч. по ур. проз.	
		А				α				А	α	А	α
1	110	270° 3'	- 7	-12	269° 57'	28° 42'	+ 3	+10	28° 45'	[89° 57']	-28° 45'	90° 0'	-28° 45'
2	111	314 43	- 7	- 9	314 38	37 2	+10	+15	37 10	45 22	-37 10	45 19	-37 7
3	201	68 27	- 2	- 4	68 25	182 45	+ 9	+11	182 51	68 25	- 2 51	68 35	- 2 50
6	110	269 57	+ 3	- 1	269 58	344 25	+ 4	+ 3	344 27	[89 58]	-15 33	90 0	-15 33
7	100	270 0	+ 0	+ 0	270 0	0 0	0	0	0 0	90 0	0 0	90 0	0 0
8	110	270 2	-13	- 9	269 55	163 59	+ 8	+ 4	164 3	-[89 55]	15 57	-90 0	15 33
9	100	270 2	- 2	- 1	269 59	180 5	+ 5	- 3	180 6	-[89 59]	- 0 6	-90 0	0 0
10	110	269 58	+ 2	+ 2	269 59	ярк. полоса 207° 0'—208 50			-[89 59]	полоса -27°—28° 50		-90 0	-28 45

Основываясь на данных этой таблицы, мы можем сделать следующее сопоставление:

- Проективный символ грани (110) по уравнениям  $\{a_1 + a_2; a_3; 0\}$   
 » » » » по наблюдению  $\{cs (15^\circ 33'); sn 15^\circ 33'; 0\}$   
 » » » (110) по уравнениям  $\{a_1 - a_2; - a_3; 0\}$   
 » » » » по наблюдению  $\{cs (-28^\circ 45'); sn (-28^\circ 45'); 0\}$   
 » » » (201) по уравнениям  $\{2a_1 + a_3; a_3; 1\}$   
 » » » » по наблюдению  $\left\{ \frac{cs (-2^\circ 51')}{\cot (68^\circ 25')} ; \frac{sn (-2^\circ 51')}{\cot (68^\circ 25')} ; 1 \right\}$   
 » » » (111) по уравнениям  $\{a_1 - a_2 + a_3; - a_4 + a_5; 1\}$   
 » » » » по наблюдению  $\left\{ \frac{cs (-37^\circ 10')}{\cot (45^\circ 22')} ; \frac{sn (-37^\circ 10')}{\cot (45^\circ 22')} ; 1 \right\}$

Отсюда находимъ

$$a_5 = - \frac{sn (2^\circ 51')}{\cot (68^\circ 25')} = - 0,1257$$

$$a_4 = a_5 + \frac{sn (37^\circ 10')}{\cot (45^\circ 22')} = - 0,1257 + 0,6119 = 0,4862$$

$$a_3 = \frac{cs (37^\circ 10')}{\cot (45^\circ 22')} + a_4 \cot (28^\circ 45') = 0,8071 - 0,8862 = - 0,0791$$

$$a_2 = \frac{1}{2} (a_4 \cot (15^\circ 33') - a_4 \cot (28^\circ 45')) = \frac{1}{2} (1,7473 - 0,8862) = 0,4305$$

$$a_1 = \frac{1}{2} (a_4 \cot (15^\circ 33') + a_4 \cot (28^\circ 45')) = \frac{1}{2} (1,7473 + 0,8862) = 1,3168$$

Итакъ, на основаніи новыхъ наблюдений мы нашли

$$\frac{p_0'}{p_1'} = \frac{1,3168 p_0 + 0,4305 p_1 - 0,0791 p_2}{0,4862 p_1 - 0,1257 p_2} \quad a'')$$

Сравнивая коэффициенты этихъ уравненій съ коэффициентами уравненій а'), находимъ различіе во второй десятичной, откуда слѣдуетъ, что при вычисленіяхъ этихъ достаточно ограничиться двумя десятичными знаками.

Наиболѣе же вѣроятныя уравненія получатся, если мы придадимъ коэффициентамъ среднія значенія между а') и а''), и притомъ ограничимся тремя десятичными знаками.

Находимъ

$$\frac{p_0'}{p_1'} = \frac{1,312 p_0 + 0,429 p_1 - 0,077 p_2}{0,4845 p_1 - 0,126 p_2} \quad a''')$$

Отсюда для граней

$$\frac{r_0'}{r_1'} = \frac{r_0}{-0,8855 r_0 + 2,708 r_1} \quad b''')$$

$$\frac{r_2'}{r_1'} = \frac{-0,034 r_0 + 0,341 r_1 + 1,312 r_2}{-0,034 r_0 + 0,341 r_1 + 1,312 r_2}$$

И обратно, для граней

$$\frac{p_0}{p_1} = \frac{p_0' - 0,8855 p_1' - 0,034 p_2'}{2,708 p_1' + 0,341 p_2'} \quad c''')$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{1,312 p_2'}{1,312 p_2'}$$

и для реберъ

$$\frac{r_0}{r_1} = \frac{1,312 r_0'}{0,429 r_0' + 0,4845 r_1'} \quad d''')$$

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{-0,077 r_0' - 0,126 r_1' + r_2'}{-0,077 r_0' - 0,126 r_1' + r_2'}$$

По формулъ a''') вычислены числа столбцовъ 13) и 14). Результаты можно признать удовлетворительными. Согласно съ этими формулами даны также графическіе элементы аксинита на табл. III, фиг. 12.

# ТЕОДОЛИТНЫЙ МЕТОДЪ

ВЪ

МИНЕРАЛОГИИ И ПЕТРОГРАФИИ.

---

**ЧАСТЬ ВТОРАЯ**

КРИСТАЛЛООПТИЧЕСКІЯ ИЗСЛѢДОВАНІЯ.

---

NOUVELLE MÉTHODE POUR L'ÉTUDE GONIOMÉTRIQUE ET OPTIQUE DES  
CRISTAUX APPLIQUÉE À LA MINÉRALOGIE ET À LA PÉTROGRAPHIE.

---

**PARTIE II.**

ÉTUDES OPTIQUES.

---





## I. ОСНОВАНІЯ НОВАГО МЕТОДА КРИСТАЛЛООПТИЧЕСКИХЪ ИЗСЛѢДОВАНІЙ.

§ 1. Развитие наблюдательныхъ наукъ находится въ тѣсной связи съ развитіемъ самихъ орудій наблюденія и изслѣдованія.

Нетрудно было бы развитъ это положеніе въ примѣненіи къ разнообразнымъ научнымъ отраслямъ (и на первомъ планѣ — къ физикѣ). Но для меня теперь важно отбѣнить его справедливость для области минералогическихъ и петрографическихъ изслѣдованій. Здѣсь особенно выдвинулось за послѣднія десятилѣтія значеніе микроскопа. Оно и понятно, такъ какъ объектомъ большинства наблюденій служатъ кристаллы и кристаллическія пластинки столь малыхъ размѣровъ, что непосредственное наблюденіе ихъ невооруженнымъ глазомъ почти невозможно.

Сообразно съ этимъ, современные микроскопы, предназначенные для изслѣдованій этого рода, получили большую степень сложности и приспособлены для весьма разнообразныхъ цѣлей.

Теперь меня въ особенности интересуютъ тѣ движенія, которымъ подвергается изслѣдуемый препаратъ

Въ современномъ микроскопѣ, приспособленномъ для изслѣдованій этого рода, препаратъ можно подвергать:

- 1) Всякимъ движеніямъ въ плоскости самого препарата.
- 2) Къ препарату можно приближать или отъ него удалять трубу микроскопа (что равносильно вертикальному движенію самого препарата), и притомъ какъ грубымъ образомъ, такъ и тонкимъ микрометреннымъ движеніемъ съ весьма точнымъ измѣреніемъ этого движенія.
- 3) Препарат можно вращать около оси, перпендикулярной къ его плоскости; при этомъ съ нѣкоторою точностью измѣняется уголъ поворота.

Формулируя характеръ этихъ движеній, мы можемъ сказать, что препаратъ можно подвергать всѣмъ тѣмъ движеніямъ, при которыхъ сохраняется параллельность его плоскости (или, что все равно, перпендикулярность къ оси трубы).

§ 2. Для совершенной универсальности движения препарата остается еще придать ему вращения около двухъ взаимно-перпендикулярныхъ осей, изъ которыхъ одна была бы неподвижною и параллельною его плоскости.

Первая часть нашего изслѣдованія имѣла задачею показать важное значеніе этихъ добавочныхъ движеній и ихъ точнаго измѣренія при кристаллографическихъ изслѣдованіяхъ. Теперь мы разберемъ ту же задачу въ примѣненіи къ изслѣдованіямъ кристаллографическимъ.

Всѣмъ минерологамъ и петрографамъ, конечно, хорошо извѣстно высокое значеніе наблюдений кристаллическихъ пластинокъ въ сходящемся свѣтѣ, введенное въ науку Brewster'омъ<sup>1)</sup>. Они даютъ намъ возможность проникать въ глубь молекулярнаго строенія кристаллическаго вещества, и, между прочимъ, прямо отвѣчать на вопросъ, всѣ ли эти оси эллипсоида оптической упругости различны, или двѣ изъ нихъ одинаковы (случай эллипсоида вращения).

Мало того, приспособленія, хорошо извѣстныя всѣмъ физикамъ и минерологамъ, даютъ возможность опредѣлить такъ называемый кажущійся уголъ между оптическими осями, отъ котораго, вообще, нетрудно перейти и къ истинному углу, а это опредѣленіе, въ свою очередь, есть одна изъ важнѣйшихъ данныхъ при опредѣленіи оптическихъ константъ.

Несмотря на все это, пользуясь для опредѣленій наблюдениями въ сходящемся свѣтѣ, мы лишаемся многихъ особенныхъ преимуществъ, свойственныхъ наблюдениямъ въ параллельномъ свѣтѣ.

Не говоря уже о большей простотѣ условій въ наблюденияхъ этого рода и о нѣкоторыхъ другихъ второстепенныхъ преимуществахъ, только они дѣлаютъ возможнымъ пользоваться всюю увеличивающею силою микроскопа.

Это обстоятельство является, однако, едвали не самымъ существеннымъ. Въ самомъ дѣлѣ, въ значительномъ большинствѣ случаевъ при изслѣдованіи кристаллическихъ пластинокъ мы имѣемъ предъ собою не кристаллически однородное вещество, съ одинаковыми свойствами во всѣхъ своихъ точкахъ, не то идеальное вещество, которое прежде всего имѣетъ въ виду кристаллографія, а вещество довольно сложнаго строенія, то перестѣнное тонкими двойниковыми полосками, иногда исчезающими по своей тонкости и не поддающимися даже микроскопическимъ наблюдениямъ, то представляющее наслоеніе изоморфныхъ веществъ, постоянно измѣняющихся въ своихъ свойствахъ, то, наконецъ, одно вещество правильно, или неправильно, пронизывается другимъ.

Обо всемъ этомъ изученіе въ параллельномъ свѣтѣ даетъ отчетливое представленіе, между тѣмъ какъ изученіе въ сходящемся свѣтѣ не достигаетъ своей цѣли.

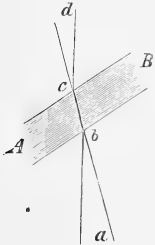
Есть еще другое существенное обстоятельство, чрезвычайно ослабляющее значеніе примѣненія сходящагося свѣта для измѣренія угла оптическихъ осей — это необходимость имѣть

<sup>1)</sup> On the laws of polarisation and double refraction in regularly crystallised bodies. Phil. Transact. 1818. I, p. 199—273.

въ распоряженіи пластинки, перпендикулярныя къ биссектрисамъ этихъ осей. Помимо трудности точнаго приготовленія такихъ пластинокъ нужно имѣть въ виду, что въ случаѣ триклинной системы точно опредѣлить положеніе биссектрисъ не менѣе трудно чѣмъ измѣрить уголъ между оптическими осями и вообще опредѣлить положеніе послѣднихъ <sup>1)</sup>.

Теперь я постараюсь показать, что затрудненія эти не имѣютъ мѣста при изученіи въ параллельномъ свѣтѣ.

Допустимъ, что кристаллическая пластинка  $AB$  (фиг. 30) приведена въ такое положеніе, что нормальное направленіе распространенія световой волны  $ab$ , послѣ преломленія въ пластинкѣ слѣдуетъ параллельно оптической оси  $bc$ . Такъ какъ оптическая ось или ось внутренняго конического преломленія есть такое направленіе въ кристаллѣ, по которому всѣ поляризованные лучи имѣютъ одну и ту же скорость распространенія, то ясно, что видимое въ микроскопѣ такое мѣсто препарата будетъ имѣть въ параллельномъ свѣтѣ свойства изотропнаго вещества.



Фиг. 30.

Это обстоятельство даетъ возможность безъ особаго труда опредѣлить кажущееся положеніе оптическихъ осей въ микроскопическихъ зернахъ.

Особенно изящно приведеніе кристаллической пластинки въ такое положеніе при употребленіи вспомогательной чувствительной пластинки и кварцеваго компаратора Мишеля Леви.

Вставивъ такую пластинку на пути лучей, идущихъ черезъ препаратъ, мы при вращеніи столика микроскопа будемъ вообще наблюдать послѣдовательное измѣненіе цвѣтовъ интерференціи въ извѣстныхъ предѣлахъ, численно опредѣляемыхъ съ помощью кварцеваго компаратора.

Затѣмъ мы подвергаемъ препаратъ вращенію около обѣихъ осей универсальнаго столика въ тѣхъ направленіяхъ, при которыхъ предѣлы цвѣтовъ сближаются, и такимъ образомъ мало по малу доходимъ до того положенія, при которомъ предѣлы эти совпадаютъ, т. е. когда при вращеніи столика (около вертикальной оси) цвѣтъ интерференціи остается одинъ и тотъ же (а именно чувствительной цвѣтъ взятой пластинки).

Строго говоря, такого положенія мы никогда въ точности не достигнемъ, благодаря дисперсіи осей кристалла <sup>2)</sup>. Но такъ какъ въ значительномъ большинствѣ случаевъ эта дисперсія

<sup>1)</sup> Впрочемъ, способы Adams'a и нѣкоторые другіе (Brezina), основанные на томъ же принципѣ, даютъ возможность приблизительно опредѣлить уголъ между оптическими осями, не прибѣгая къ употребленію строго ориентированныхъ шифовъ. Теоретически возможно также опредѣленіе константъ, даже триклиннаго кристалла, по угламъ затемненія въ 5-ти различныхъ сѣченіяхъ (см. Liebisch. Ueber die Bestimmung der optischen Axen durch Beobachtung der Schwingungsrichtungen ebener Wellen. Neues Jahrb. für Mineralogie etc. 1836, B. I, S. 153). Однако, на практикѣ такое примѣненіе было бы слишкомъ сложно и неточно.

<sup>2)</sup> Обстоятельства, при которыхъ это условіе соблюдается въ наиболѣе совершенной степени, подробно рассмотрѣны Е. Кальевскимъ (Groth's Zeitschrift für Krystallographie, B. IX, S. 486—497). Главное изъ нихъ а именно правильная ориентировка самихъ пластинокъ, очевидно, при употребленіи универсальнаго столика можетъ быть осуществлено съ полною удовлетворительностью.

столь незначительна, что ею можно пренебречь при этомъ опредѣленіи, то практически такое опредѣленіе будетъ весьма удовлетворительно.

Впрочемъ, и безъ употребленія чувствительной пластинки, приведеніе препарата въ требуемое положеніе совершается весьма удобно, благодаря постепенному пониженію цвѣта при приближеніи къ этому положенію, и, наконецъ, достиженію полной темноты при вращеніи столика.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда дисперсіей нельзя пренебречь, нужно употребить для изслѣдованія однородный цвѣтъ освѣщенія и устанавливать на постоянную темноту.

Отсчеты на обоихъ лимбахъ универсальнаго столика точно опредѣляютъ кажущееся положеніе оптической оси (по отношенію къ плоскости пластинки и направленію нѣкотораго ребра въ ней).

§ 3. Приведеніе кристаллическихъ пластинокъ въ наклонное положеніе можетъ доставить и нѣкоторыя другія важныя численныя данныя, характеризующія оптическія свойства изслѣдуемаго кристалла.

Особенное значеніе при этихъ изслѣдованіяхъ имѣютъ тѣ сѣченія кристалловъ, которыя соответствуютъ плоскостямъ, перпендикулярнымъ къ осямъ эллипсоида оптической упругости и которыя представляютъ въ то же время и плоскости симметріи эллипсоида.

Имѣя два такихъ сѣченія мы можемъ напр. съ помощью компаратора Мишель Леви, опредѣлить разности главныхъ коэффициентовъ преломленія, и потому для полнаго опредѣленія оптическихъ константъ останется еще опредѣлить абсолютную величину одного изъ нихъ <sup>1)</sup>.

Изъ этихъ трехъ сѣченій, въ свою очередь, наибольшее значеніе имѣетъ сѣченіе параллельное плоскости оптическихъ осей, въ которомъ разность коэффициентовъ преломленія наибольшая, и, соответственно этому, цвѣта интерференціи наивысшіе.

Основываясь на этомъ, мы можемъ изъ всѣхъ сѣченій даннаго кристалла, въ препаратѣ выбрать ближайшее къ этому, отыскивая зерна, окрашенныя высшимъ цвѣтомъ.

Впрочемъ, вообще, даже такія избранныя сѣченія не будутъ еще съ достаточною строгостью соответствовать искомому и образуютъ съ нимъ нѣкоторый, хотя бы незначительный, уголъ. И потому, при такихъ опредѣленіяхъ важно убѣдиться, въ какой мѣрѣ найденное сѣченіе соответствуетъ предполагаемому.

Такое испытаніе опять-таки весьма просто произвести, если мы имѣемъ возможность измѣнять ориентировку кристаллической пластинки, вращая ее около параллельныхъ ей осей.

Если плоскость сѣченія есть, дѣйствительно, плоскость симметріи оптическаго эллипсоида, то въ ней должны находиться двѣ изъ осей оптической упругости, и вращеніе около каждой изъ нихъ въ ту и другую стороны должны дать симметричныя измѣненія цвѣтовъ интер-

<sup>1)</sup> Впрочемъ, не слѣдуетъ упускать изъ виду, что такое опредѣленіе оптическихъ константъ весьма неточно даже при сравнительно значительной дупреломляемости. Когда возможно, всегда лучше непосредственное опредѣленіе положенія оптическихъ осей.

ференціи. При этомъ направленіе самихъ осей легко опредѣляется совпадающими съ ними направленіями затемнѣнія.

Только въ томъ случаѣ, когда такая проверка подтвердитъ правильность предположенія, будто мы дѣйствительно имѣемъ дѣло съ симметричнымъ сѣченіемъ, мы имѣемъ право производить измѣреніе разности показателей преломленія.

Однако, если бы проверка не подтвердила сдѣланнаго предположенія и оказалось бы, что взятое сѣченіе образуетъ небольшой уголъ съ предполагаемою симметричною плоскостью, то, пользуясь тѣмъ же универсальнымъ столикомъ, мы можемъ все-таки привести пластинку болѣе точно въ требующееся положеніе плоскости оптическихъ осей, найдя положеніе высшаго цвѣта интерференціи.

Правда, что такое приведеніе затрудняется тѣмъ, что при наклоненіи пластинки увеличивается путь, проходимый световою волною, а это равносильно увеличенію толщины пластинки и, въ свою очередь, приводитъ къ повышенію цвѣта; но при небольшихъ углахъ, напр. не превышающихъ величины  $10^\circ$ <sup>1)</sup>, это измѣненіе по своей ничтожности ускользаетъ отъ наблюденія.

Въ самомъ дѣлѣ, при измѣненіи положенія направленія волны на этотъ уголъ путь увеличится на множитель  $1/\cos 10^\circ = 1,0154$ , а это измѣненіе не будетъ замѣтно даже въ наиболее толстыхъ употребительныхъ шлифахъ и при сильномъ дупреломленіи кристалла.

Всякое вообще симметрическое сѣченіе мы легко распознаемъ, установивъ пластинку въ перекрещивающихся николяхъ на темноту. Приведемъ послѣдовательно одно и другое направленіе затемнѣнія въ положеніе параллельное осей вращенія универсальнаго столика. Тогда при вращеніи пластинки около этой оси на какой-угодно уголъ сохранится полное затемнѣніе. Если же затемнѣніе сохраняется только при вращеніи около одного изъ этихъ направленій, а при вращеніи около другого не сохраняется, то это показываетъ, что сѣченіе препарата не соответствуетъ плоскости симметріи, но параллельно одной изъ осей (симметріи) эллипсоида; этою осью будетъ именно то направленіе затемнѣнія, вращая около котораго мы получимъ сохраненіе темноты.

§ 4. Только-что изложенный процессъ наблюденія даетъ возможность различать кристаллическія системы въ микроскопическихъ зернышкахъ неправильныхъ очертаній.

Именно: для кубооктаэдрической системы всякое сѣченіе изотропно.

Для тетрагональной и гексагональной системъ всякое сѣченіе симметрично относительно одного изъ направленій затемнѣнія, такъ какъ оно будетъ сдѣломъ перпендикулярной къ ней плоскости симметріи, и вращеніе около прямой, перпендикулярной къ этому сдѣлу, не выведетъ препаратъ изъ положенія полнаго затемнѣнія.

<sup>1)</sup> При этомъ я считаю за этотъ уголъ уголъ дѣйствительнаго измѣненія направленія волны; кажущійся же уголъ т. е. тотъ, на который мы наклоняемъ пластинку въ воздухѣ, будетъ значительно больше.

Для дигональной системы, въ общемъ случаѣ, такой симметріи не существуетъ.

Но въ частныхъ случаяхъ:

Для ромбической подсистемы этимъ свойствомъ обладаютъ только грани трехъ поясовъ  $[100]$ ,  $[010]$  и  $[001]$  (т. е. грани, параллельныя осямъ ортогональныхъ поясовъ), въ случаѣ моноклинной подсистемы есть только одинъ такой поясъ  $[010]$ .

Наконецъ, въ случаѣ триклинной подсистемы ортогональные пояса вовсе отсутствуютъ, и потому такихъ сѣченій нѣтъ.

Все только-что изложенное еще далеко не исчерпываетъ полезныхъ приложений универсальнаго столика микроскопа.

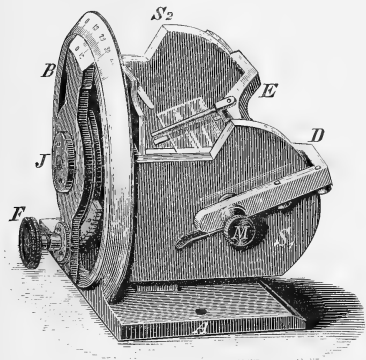
Нѣкоторыя изъ такихъ приложений я еще въ подробности разсмотрю дальше. Но уже того, что изложено здѣсь, полагаю, достаточно, чтобы охарактеризовать вообще полезность вновь вводимаго усовершенствованія микроскопа, къ подробному описанію котораго я и перехожу въ слѣдующихъ главахъ.

## II. ОПИСАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО СТОЛИКА.

§ 5. Универсальнымъ столикомъ я называю такое приспособленіе къ обыкновенному поляризационному микроскопу, которое устанавливается на его столикѣ (и можетъ быть снято) и которое даетъ возможность подвергать препаратъ вращенію около двухъ взаимно-перпендикулярныхъ осей.

Такихъ приспособленій я устроилъ <sup>1)</sup> 2 типа, и каждый изъ нихъ имѣетъ свои преимущества и недостатки.

Я опишу каждый изъ нихъ отдѣльно, отмѣнивъ ихъ особенности и способы вывѣрки.



Фиг. 31.

Столикъ I типа (фиг. 31) состоитъ изъ основной пластинки *A*, къ которой неподвижно прикрѣпленъ вертикальный лимбъ. Черезъ центръ этого лимба проходитъ горизонтальная неподвижная ось *J*; съ одной стороны эта ось связана съ секторомъ *B*, несущимъ ноуіусъ; съ другой стороны къ ней неподвижно прикрѣплена пластинка съ двумя вертикальными секторами *S*<sub>1</sub> и *S*<sub>2</sub>; при вращеніи оси пластинка эта скользитъ по задней сторонѣ лимба; около центровъ секторовъ вращается изогнутый стержень *DE*, снабженный платиновыми зажимами, поддерживающими препаратъ. Ось *M* вращеніе этого стержня и составляетъ вторую, подвижную, ось аппарата.

Понятно, что ось эта вмѣстѣ съ секторами вращается около неподвижной оси *J*, а препаратъ, кромѣ того, можетъ быть подвергаемъ еще и другому вращенію — около оси *M*.

<sup>1)</sup> О полезности такого устройства мною было сообщено на засѣданіи Геологическаго Комитета 13-го мая 1891 года, и тогда же Присутствіе Комитета постановило отпустить средства для осуществленія этого прибора, за что я считаю долгомъ выразить Присутствію Комитета свою искреннюю признательность.

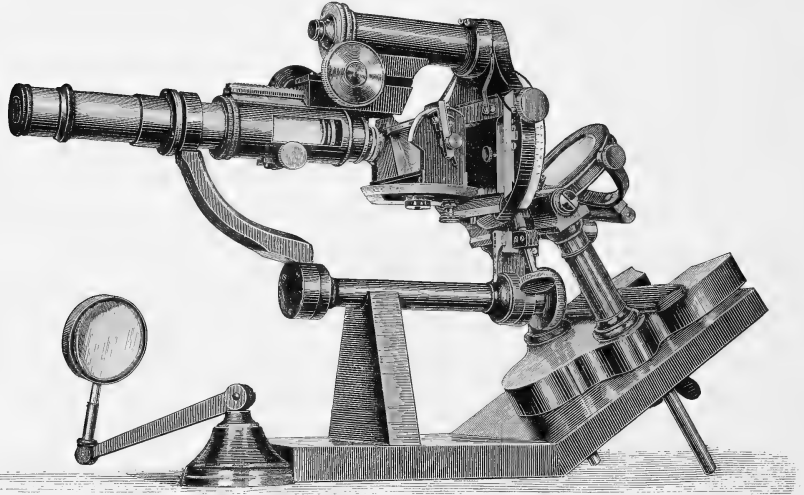
Вращеніе около оси  $J$  производится при помощи пюговки  $F$ , связанной съ зубчатыми колесами. Вращеніе стержня  $DE$  производится отъ руки; закрѣвленіе же производится посредствомъ нажатія винтикомъ  $M$  <sup>1)</sup>.

Стержень  $DE$  можетъ быть легкимъ надавливаніемъ снятъ съ аппарата и затѣмъ снова надѣтъ на прежнее мѣсто; прикрѣвленіе его достигается особыми надавливающими пружинками <sup>2)</sup>.

Прикрѣвленіе аппарата къ обыкновенному століку микроскопа производится посредствомъ винтиковъ.

При наблюденіяхъ въ преломляющихъ жидкостяхъ къ этимъ частямъ присоединяется еще стеклянная ванночка съ параллельными стѣнками, насаживаемая на особую пластинку, неподвижно прикрѣвленную къ вертикальному лимбу. Но такъ какъ дно ванночки должно имѣть горизонтальное положеніе, то всему прибору приходится дать особое расположеніе <sup>3)</sup>.

Это расположеніе лучше всякаго описанія на словахъ можно усмотрѣть на фиг. 32.



Фиг. 32.

<sup>1)</sup> Вслѣдствіе, въ приборѣ, предназначенномъ для кабинета И. Академіи Наукъ, К. Д. Хручевымъ сдѣлано приспособленіе для механическаго вращенія стержня  $CD$  также при помощи зубчатого сектора.

<sup>2)</sup> Это существенно важно при работѣ въ преломляющихъ жидкостяхъ.

<sup>3)</sup> Сильно преломляющія жидкости въ значительной степени уменьшаютъ величины наблюдаемыхъ угловъ, и потому употребленіе ихъ равносильно увеличенію простора въ приборахъ для наблюденія. Иногда это бываетъ очень важно.

Спеціально же приѣвленіе жидкостей, преломленіе которыхъ мало отличается отъ преломленія изслѣдуемыхъ пластинокъ, доставляетъ особыя и незамѣнимыя преимущества, создавая вмѣсто одного шлифа какъ бы большое

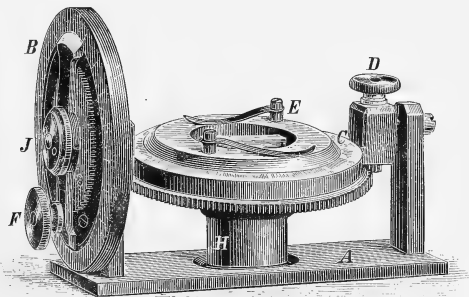


Нетрудно видѣть, что если въ приборѣ этого типа (установленномъ для обыкновенныхъ воздушныхъ наблюдений) препаратъ будетъ приведенъ въ горизонтальное положеніе, то и ось *J* и *M* примутъ горизонтальное положеніе. Это въ то же время и главное положеніе прибора, отъ котораго при различныхъ наблюденияхъ мы можемъ съ равнымъ правомъ уклоняться въ ту и другую сторону.

Поэтому, приборъ этого типа можно охарактеризовать еще какъ приборъ съ двумя горизонтальными осями вращенія.

Для нанесенія наблюденія графическимъ путемъ служитъ проэція фиг. 18 (стр. 47). Здѣсь прямо виденъ полюсъ подвижной оси *M*, такъ какъ чрезъ него проходятъ меридіаны. Величины же угловъ (координатъ) считаются отъ центра проэцій: долготы по малымъ кругамъ, а широты по большимъ (меридіанамъ).

§ 6. Столикъ II типа изображенъ на фиг. 33. Онъ также состоитъ изъ основной пластинки *A*, накладываемой на обыкновенный столикъ микроскопа, неподвижно прикрѣпленнаго къ ней



Фиг. 33.

вертикальнаго лимба *B* и вращающейся около оси этого лимба части, несущей препаратъ. Но здѣсь часть эта состоитъ изъ двойнаго кольца; основное кольцо съ нанесенными дѣлениями

множество другихъ, различно ориентированныхъ во всѣхъ направленіяхъ. На это весьма важное преимущество наблюдений въ жидкостяхъ впервые обратилъ вниманіе С. Klein. Онъ справедливо отгѣняетъ особое значеніе этого способа наблюдений.

Вотъ напр. непосредственное наблюденіе угловъ затемненія анортита въ поясѣ [100], производимое надъ однимъ единственнымъ шпифомъ:

„Sehr viel verwickelter liegen die Verhältnisse, wenn man einen Anorthit um die Normale auf *M* von einer Lage *P* aus dreht, die defіnirt ist durch die Eigenschaft parallel *M:P* und senkrecht auf *M* zu sein. Hier herrscht zu Anfang eine Schiefe von etwa 36°. Dieselbe nimmt aber nach der Theorie innerhalb des kleinen Drehwinkels von etwa 10° ab bis zu 0°, steigt bei weiterer Drehung von etwa 10° wieder um fast 30° und dann allmählich zu höheren Werthen, etwa 60°, um endlich wieder ziemlich rasch den Ausgangswerth von 36° in der zur Anfangslage parallelen Lage zu erreichen. Wer könnte es unternehmen dies durch Schlitze darzustellen?“ (Sitzber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, 1891, H. IV, S. 197).

неподвижно связано съ горизонтальною неподвижною осью  $J$ , а другое кольцо  $E$  вращается внутри перваго и несеть ноніусъ и пружинки, прижимающія предметное стекло препарата. Самое вращеніе этого кольца производится при посредствѣ пуговки  $D$  и зубчатаго привода.

Кромѣ того, снизу въ круглое отверстіе основной пластинки вставляется часть  $H$ , несущая сигналъ въ видѣ продолговатой стекляннй пластинки съ проведенной вдоль (и поперекъ) нея тончайшей чертой. Пластинка эта видна чрезъ верхнее отверстіе кольца, между пружинами. Черта проведена съ возможною строгостью параллельно неподвижной оси  $J$  и предназначается для того, чтобы имѣть возможность непосредственно устанавливать какое-угодно направленіе въ препаратѣ параллельно этой оси. Для этого мы вращеніемъ пуговки приводимъ желаемое направленіе въ совмѣщеніе съ нитью креста микроскопа, а эта нить разъ навсегда установлена параллельно оси  $J$ , и положеніе можетъ быть во всякое время проверено опусканіемъ трубы микроскопа, пока не будетъ видна черта сигнала  $H$ . Она должна совпасть съ нитью.

Мы видимъ, что когда въ этомъ приборѣ препаратъ приводится въ горизонтальное положеніе, то неподвижная ось  $J$  горизонтальна, а подвижная имѣетъ вертикальное положеніе.

Поэтому, столикъ этого типа можно также охарактеризовать какъ приборъ съ одною горизонтальною осью.

Для нанесенія наблюденій служить проекція фиг. 17 (стр. 47). Здѣсь въ центрѣ помѣщается полюсъ подвижной оси  $M$  въ ея начальномъ положеніи, а полюсъ неподвижной оси находится на окружности проекціи, тамъ, гдѣ поставлена цифра 0.

§ 7. Оба прибора построены по общему типу теодолитовъ и достигаютъ той цѣли, что въ нихъ каждое направленіе, не составляющее слишкомъ большого угла съ нормалью къ плоскости препарата, можетъ быть приведено въ вертикальное положеніе (совпадающее съ оптической осью микроскопа). Отсчеты обоихъ лимбовъ точно и притомъ однозначно опредѣляютъ пространственное положеніе этой нормали, давая ея сферическія координаты (соотвѣтствующія широтѣ и долготѣ, какъ это объяснено при описаніи универсальнаго гониометра).

Отсюда, въ свою очередь, заключаемъ, что полученныя числа являются данными для простѣйшихъ вычисленій, въ какихъ можетъ явиться надобность при рѣшеніи различныхъ вопросовъ, что въ обоихъ случаяхъ мы можемъ пользоваться тѣми простѣйшими формулами, которыя выведены для универсальнаго гониометра.

При всѣхъ этихъ общихъ существенныхъ преимуществахъ обоихъ приборовъ, каждый имѣетъ свои особенности, приносящія особая преимущества и недостатки.

Особеннымъ и незамѣнимымъ преимуществомъ столика I типа является возможность приспособить его къ наблюденіямъ препаратовъ, помѣщенныхъ въ преломляющія жидкости.

Другимъ важнымъ преимуществомъ этого столика служить еще то обстоятельство, что при небольшихъ отклоненіяхъ препарата отъ горизонтальнаго положенія вращенія около обѣихъ осей вызываютъ почти одинаковое измѣненіе въ положеніи препарата; вращеніе около неподвижной оси всегда отклоняетъ препаратъ въ извѣстномъ направленіи на полный отсчитываемый уголъ, а вращеніе около подвижной оси — почти на полный уголъ, и притомъ на

тѣмъ меньшій противъ отсчитываемаго, чѣмъ больше наклоненъ препаратъ. А такъ какъ въ большинствѣ случаевъ мы производимъ наблюденія при возможно маломъ его наклоненіи, то такимъ образомъ этотъ приборъ приводитъ къ скорѣйшей установкѣ препарата.

Отсутствие этихъ особыхъ преимуществъ составляетъ недостатки прибора II типа.

Зато специальными его преимуществами являются:

- a) большій просторъ при наблюденіяхъ <sup>1)</sup>;
- b) возможность давать препарату большій наклонъ;
- c) большая простота его конструкции и провѣрки и, что составляетъ наиболее существенное его преимущество,
- d) немаловажнымъ удобствомъ этого прибора является также возможность устанавливать нѣкоторое определенное направленіе въ препаратѣ, служащее исходнымъ пунктомъ (напр. направленіе двойниковыхъ полосъ въ плагіоклазахъ) на ноль;
- e) возможность подвергать препаратъ вращенію около произвольной прямой, параллельной плоскости препарата.

§ 8. Мы видѣли выше, какъ существенно это свойство, напр. при испытаніи симметричности сѣчей кристаллическихъ пластинокъ, при опредѣленіи кристаллической системы въ параллельномъ свѣтѣ и т. п.

Это условіе столь существенно, что я старался устроить и для I типа такое приспособленіе, которое давало бы возможность достигнуть его выполнения.

Для этого я употребляю микроскопическіе препараты (какъ минералогическіе такъ и петрографическіе) особаго типа.

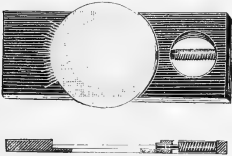
Вмѣсто обыкновенныхъ продолговатыхъ предметныхъ стеклышекъ я беру круглыя (діаметръ = 20 мм.), а сами стеклышки вставляю въ особую препаратную пластинку, изображенную на фиг. 34 въ натуральную величину въ планѣ и въ разрѣзѣ.

Эта пластинка сдѣлана изъ эбонита и имѣетъ въ срединѣ круглый вырѣзъ для вставленія препарата, а подъ нимъ круглое отверстіе для наблюденій въ проходящемъ свѣтѣ. По краямъ круглаго отверстія нанесены дѣленія, которыя даютъ возможность дѣлать грубое отсчитываніе угла поворота пластинки.

Для устойчивости препарата сбоку устроено отверстіе съ платиновой пружинкой, посредствомъ которой стеклышко подвергается надавливанію.

Благодаря этому устройству, препаратъ можетъ быть подвергаемъ отъ руки поворачиванію (около вертикальной оси), пока не приметъ требуемаго положенія (напр. чтобы направленія затемненія стали параллельны осямъ вращенія въ приборѣ I типа).

<sup>1)</sup> Это даетъ возможность дѣлать такія наблюденія, какихъ иногда вовсе нельзя производить въ приборѣ I типа. Сюда относится напр. приборъ для наблюденій кристаллическихъ пластинокъ подъ высокимъ давленіемъ, только-что (1892) построенный, и наблюденія съ которыми я производилъ лишь въ самое послѣднее время.



Фиг. 34.

Коснувшись описанія этихъ препаратовъ новаго типа, я позволю себѣ сказать два слова объ ихъ преимуществахъ, кромѣ тѣхъ, для которыхъ они специально и предназначаются.

Препараты эти требуютъ особенно мало мѣста, почему сохраненіе и пересылка ихъ упрощается въ значительной мѣрѣ, а главное они почти становятся небоющимися.

Хотя, конечно, каждый занимающійся наукой привыкъ обходиться со всякими приборами и препаратами съ щепетильною осторожностью, тѣмъ не менѣе при постоянномъ обращеніи съ сотнями даже тысячами препаратовъ можетъ случиться маленькая неосторожность, а упавшій на полъ препаратъ почти всегда является потеряннымъ. Вотъ въ этомъ отношеніи новые препараты гарантированы въ большей мѣрѣ отъ потери.

Примѣненіе этихъ препаратовъ къ столику I типа доставляетъ и ему удобство, означенное выше подъ рубрикой d).

§ 9. Теперь перейду къ описанію вывѣрки приборовъ обоихъ типовъ, начиная съ перваго (въ предположеніи, что употребляемый при этомъ микроскопъ вывѣренъ раньше).

Неподвижная ось  $J$  должна быть параллельна плоскости столика, а подвижная ось  $M$  должна быть къ ней перпендикулярна. Если оба эти условія выполнены съ удовлетворительною точностью, то приборъ годенъ для измѣреній.

Для испытанія перваго условія мы приводимъ сначала препаратъ въ горизонтальное положеніе; въ этой горизонтальности убѣждаемся, подвергая обыкновенный столикъ микроскопа обильнѣе взаимно-перпендикулярнымъ поступательнымъ движеніямъ въ его плоскости; верхняя плоскость препарата должна быть видна въ трубу микроскопа все время съ полною рѣзкостью.

Для повѣрокъ употребляемъ предметное стеклышко съ возможно точно проведенными на немъ подъ прямымъ угломъ двумя тонкими алмазными чертами.

Прижавъ такое стеклышко за объектъ и приведя трубу микроскопа на разстояніе яснаго зрѣнія, мы расположимъ его такимъ образомъ, чтобы одна изъ его черточекъ была приблизительно параллельна неподвижной оси  $J$  и въ то же время совѣстилась съ одною изъ нитей креста. Затѣмъ, вращеніемъ около оси  $J$  наклоняемъ препаратъ въ ту и другую сторону на возможно большій уголъ.

Если неподвижная ось  $J$  параллельна плоскости столика, то при всякомъ наклоненіи препарата мы будемъ съ отчетливостью наблюдать въ трубу намѣченную черту, подвигая трубу микроскопа на подходящую величину. Чѣмъ въ большей степени не горизонтальна ось  $J$ , тѣмъ въ большей степени становится неясною намѣченная нами черта при разныхъ, особенно крайнихъ, наклоненіяхъ препарата.

Если, притомъ, избранная черта не параллельна оси  $J$ , то при вращеніи около послѣдней, она сходитъ съ волоска и образуетъ съ нею уголъ, тѣмъ большій, чѣмъ на большій уголъ мы наклоняемъ препаратъ; половину ошибки мы исправляемъ вращеніемъ всего столика, а другую половину осторожнымъ подвиганіемъ препарата.

Для второй повѣрки мы устанавливаемъ одну изъ чертъ прямогольнаго креста параллельно неподвижной оси, какъ это само собою получается при предъидущей повѣркѣ. Затѣмъ, наклоняемъ препаратъ въ ту и другую сторону около подвижной оси  $M$  и слѣдимъ затѣмъ,

остается ли горизонтальною и другая черта креста. Процессъ совершенно одинаковъ съ предъидущимъ.

Сдѣлавъ обѣ эти провѣрки, мы должны еще опредѣлить положеніе истиннаго нуля, т. е. показанія обоихъ лимбовъ при горизонтальномъ положеніи препарата, въ которомъ убѣждаемся по вышеописанному. Если эти показанія отличаются отъ нуля, то ихъ нужно отнимать при всѣхъ отсчитываніяхъ, что и составить поправку прибора.

Въ приборѣ II типа основныя повѣрки тѣ же; но онѣ производятся проще, благодаря тому, что около обѣихъ осей мы можемъ повернуть на  $180^\circ$ .

Провѣривъ горизонтальность неподвижной оси, мы убѣдимся въ перпендикулярности къ ней другой оси тѣмъ, что препаратъ, приведенный въ горизонтальное положеніе, будемъ вращать около этой оси; при этомъ плоскость препарата должна сохранять горизонтальность.

При употребленіи приборовъ для измѣренія постоянно имѣется надобность опредѣлять въ препаратѣ направленіе неподвижной оси (почти всегда даже приходится приводить въ это положеніе какую-нибудь опредѣленную прямую кристалла, напр. ребро, слѣдъ спайности и т. п.). Въ приборѣ II типа это достигается быстро и точно, приведя сначала избранную прямую приблизительно въ это положеніе по волоску креста, а затѣмъ повернувъ препаратъ около оси  $J$  на  $180^\circ$ , мы прямо отсчитываемъ двойное угловое уклоненіе взятой прямой отъ оси; половину этого угла мы легко исправляемъ вращеніемъ около другой оси <sup>1)</sup>, а другую — вращеніемъ столика микроскопа.

Что касается нулей лимба, то въ приборѣ II типа нужно провѣрить и, въ случаѣ надобности, вывести поправку, только для вертикальнаго лимба; только въ немъ показаніе  $\theta$  должно соответствовать горизонтальному положенію препарата.

§ 10. Въ заключеніе объ универсальномъ столикѣ приходится сказать, что его можно примѣнять и вмѣсто универсальнаго гониометра, если воспользоваться принципомъ, положеннымъ въ основу гониометра Hirschwald'a для кристалловъ съ неблестящими гранями. При этомъ примѣненіи, конечно, нельзя ожидать удовлетворительной точности.

Однако, универсальный столикъ можно приспособить и для болѣе, точныхъ измѣреній очень маленькихъ кристалловъ съ блестящими плоскостями. Для измѣренія можно воспользоваться слѣдующимъ принципомъ.

На самой вышней (плоской) поверхности объектива изображается небольшой черный сигналъ, а сбоку отъ какого-нибудь источника свѣта черезъ отверстіе въ стѣнкѣ трубы отбрасывается внутрь трубы микроскопа яркій свѣтъ, для чего противъ источника свѣта вдоль оси трубы помѣщается стеклышко подъ угломъ  $45^\circ$  къ оси трубы.

---

<sup>1)</sup> Впрочемъ, мною устроены и другія приспособленія для той же цѣли, дѣлающія одинаково удобно установку приборовъ обоихъ типовъ; я помѣщаю, именно, подъ препаратомъ сигналъ въ видѣ длинной двойной прямой черточки (и короткой поперечной), неподвижно установленный на основной пластинкѣ. Черточка эта устанавливается строго параллельно оси  $J$ .

Если теперь мы установимъ трубу для разсмотрѣнія поверхности кристалла, то сигнала вовсе не будемъ видѣть, такъ какъ отраженное отъ объектива изображеніе сигнала будетъ удалено отъ конца объектива на разстояніе ровно вдвое большее противъ того, какое необходимо для отчетливаго разсмотрѣнія сигнала. Поэтому, если мы теперь приблизимъ трубу микроскопа къ поверхности кристалла ровно вдвое, и если притомъ одна изъ блестящихъ граней нормальна къ оси микроскопа, то мы дѣйствительно увидимъ сигналъ въ срединѣ поля зрѣнія и можемъ его центръ привести въ совмѣщеніе съ центромъ креста нитей.

Чтобы судить о степени возможной точности этого приѣма было сдѣлано приспособленіе <sup>1)</sup> къ новѣйшему микроскопу Фуесса; бралось увеличеніе въ 30 разъ (употреблялся слабѣйшій объективъ № 00). На ярко освѣщенномъ полѣ зрѣнія съ отчетливостью выступилъ черный увеличенный сигналъ; намѣтивъ на немъ точку, и ее привели сначала въ совмѣщеніе съ центромъ креста нитей, а потомъ съ окружностью поля зрѣнія (вращая ось  $J$  универсальнаго столика). Оказалось, что столь значительное разстояніе (легко раздѣлимое на 100 частей при употребленіи болѣе крупныхъ лимбовъ съ нулями) соответствуетъ примѣрно  $2^\circ$ .

Слѣдовательно, точность такихъ наблюденій легко довести даже до  $1'$ .

Удалось получить вполне отчетливое изображеніе сигнала и при увеличеніи въ 120 разъ, но уже поле зрѣнія болѣе освѣщено довольно слабо.

Ясно, что при этомъ способѣ наблюденія центрированія производить вовсе не нужно. Можно также и не производить юстированія, и въ такомъ случаѣ истинный уголъ между двумя гранями опредѣляется вычисленіемъ по даннымъ координатамъ полюсовъ обѣихъ граней <sup>2)</sup>.

Говоря о полезныхъ приложеніяхъ универсальнаго столика, нельзя не упомянуть о способѣ опредѣленія коэффициента преломленія, имѣя въ распоряженіи не призмы, а параллельно ошлифованную пластинку кристалла.

Способъ состоитъ въ томъ, что измѣряемую пластинку вращаютъ на универсальномъ столикѣ (или гониометрѣ) и слѣдятъ за передвиженіемъ сигнала, помѣщеннаго за пластинкой.

Для опредѣленія коэффициента нужно знать:

$\delta$  — толщину пластинки

$\varepsilon$  — величину кажущагося перемѣщенія сигнала

$\alpha$  — уголъ наклоненія пластинки.

Если отношеніе  $\delta/\varepsilon$  означимъ  $m$  и искомый коэффициентъ черезъ  $n$ , то вычисленіе производится по формулѣ

$$n^2 - 1 = c s^2 \alpha \frac{2m \operatorname{sn} \alpha - 1}{(m \operatorname{sn} \alpha - 1)^2}$$

<sup>1)</sup> При содѣйствіи К. Д. Хрущева, съ которымъ совмѣстно и произведены самыя наблюденія.

<sup>2)</sup> Съ удобствомъ могутъ быть примѣнены и другіе способы гониометрическаго измѣренія микроскопическихъ кристалловъ (ср. напр. Brezina. Methodik d. Krystallbestimmung 65—67), также способъ Schrauf'a, описанный въ Groth's Zeitschrift für Krystallographie, B. XX, S. 90—92, по которому наблюденія были произведены и нашимъ соотечественникомъ, г. Пятницкимъ). Особья преимущества универсальнаго столика (или универс. гониометра) сохраняются при всѣхъ этихъ наблюденіяхъ.

При этомъ предполагается, что сигналъ помѣщенъ не очень близко пластинокъ, такъ что кажущимся перемѣщеніемъ по направленію оси трубы (наблюденіе котораго также служить для опредѣленія коэффициента преломленія по способу Chauvnes) можно пренебречь, или же его можно регулировать особымъ стекляннымъ клинышкомъ, помѣщеннымъ передъ самою трубою. Отъ этого способа можно ожидать большихъ выгодъ:

1) Употребленіе пластинокъ, опцифрованныхъ параллельно.

2) Чрезвычайно легкое и подручное опредѣленіе преломленія не для одного какого-либо направленія, а для всѣхъ направленій т. е. простое и систематическое изслѣдованіе поверхности нормальныхъ скоростей распространенія свѣта.

3) Почти одинаковое удобство примѣненія этого способа какъ для изотропныхъ, такъ и для одноосныхъ и двуосныхъ кристалловъ.

Однако, для достиженія точности, способъ этотъ требуетъ спеціальной разработки. Предварительные опыты, произведенныя мною, не дали очень удовлетворительныхъ результатовъ. До сихъ поръ мнѣ не удалось достигъ точности, позволяющей употреблять даже три десятичныхъ знака (См. Зап. Имп. Мин. Общ. ч. XXIX стр. 205).

### III. ИЗСЛѢДОВАНИЕ ДВОЙНИКОВЫХЪ КРИСТАЛЛОВЪ.

§ 11. Уже выше было упомянуто, что изслѣдованія двойниковыхъ кристалловъ съ помощью универсальнаго столика еще болѣе разнообразны, чѣмъ изслѣдованія простыхъ кристалловъ.

Помимо того, что мы можемъ отыскивать оптическія оси или симметрическія сѣченія въ каждомъ изъ двухъ индивидовъ двойника, мы можемъ еще опредѣлять нѣкоторыя замѣчательныя направленія, являющіяся въ кристаллѣ исключительно благодаря двойниковому строенію. Однако, хотя строеніе и законы двойниковъ, въ свою очередь, могутъ быть различны, но мы ограничимся теперь изслѣдованіемъ лишь одного случая — такого двойника, при которомъ одинъ изъ индивидовъ выводится изъ другого поворотомъ около двойниковой оси на  $180^\circ$ , и притомъ эта ось перпендикулярна къ плоскости сростанія обоихъ индивидовъ.

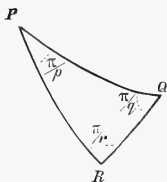
Ясно, что когда мы имѣемъ пластинку, вырѣзанную изъ двойниковаго кристалла, для насъ получаютъ большое значеніе тѣ направленія, въ которыхъ оба индивида двойника сливаются какъ бы въ одинъ, т. е. представляютъ одинаковыя оптическія свойства: одинъ и тотъ же циклъ цвѣтовъ поляризаціи, одновременное погасаніе, или хотя бы то, что одинъ индивидъ можетъ быть выведенъ изъ другого поворотомъ на нѣкоторый уголъ.

Мы начнемъ съ вывода послѣднихъ какъ съ болѣе общаго случая <sup>1)</sup>).

Для этого вывода мы можемъ воспользоваться извѣстною теоремою Эйлера о сложеніи вращеній.

Эта теорема гласитъ, что если произведено два вращенія, одно около оси  $R$  на уголъ  $2\pi/r$  (фиг. 35) и другое около оси  $Q$  на уголъ  $2\pi/q$ , то оба вмѣстѣ складываются въ одно равнодѣйствующее вращеніе, ось котораго назовемъ чрезъ  $P$ . Для отысканія этого направленія строимъ сферическій трехугольникъ по сторонамъ  $QR$  и двумъ прилежащимъ угламъ  $\pi/q$  и  $\pi/r$ ; третья вершина  $P$  трехугольника укажетъ положеніе равнодѣйствующей оси, а двойная величина угла  $\pi/p$  при этой вершинѣ есть искомый уголъ вращенія, соответствующій этой оси.

Теперь примемъ въ соображеніе слѣдующія обстоятельства. Двойниковая ось кристалла по предположенію есть ось вращенія на уголъ  $\pi$ ; каждая ось оптическаго эллипсоида есть въ



Фиг. 35.

<sup>1)</sup> Главнѣйшія понятія, развитыя въ этой главѣ, впервые были изложены въ Tschermak's Mittheilungen, 1892 S. 505 ff.



оптическомъ отношеніи такая же ось. Примемъ одну изъ нихъ за  $R$ , а другую за  $Q$ ; соединивъ  $R$  и  $Q$  дугою большого круга и проведя дуги  $RP$  и  $QP$ , перпендикулярныя къ дугѣ  $RQ$ , мы получимъ равнодѣйствующую ось  $P$ . Ясно, что теперь эта ось перпендикулярна къ плоскости осей  $R$  и  $Q$  и что уголъ вращенія, ей соответствующій, есть двойной по отношенію къ плоскому углу  $RQ$ .

Такая ось  $P$  и отвѣчаетъ одному изъ поставленныхъ заданий; если препаратъ окажется пластинкою, вырѣзанною перпендикулярно направленію такой оптически-двойниковой оси, то при вращеніи пластинки (напр. съ употребленіемъ чувствительной пластинки) мы получимъ одинъ и тотъ же циклъ цвѣтовъ поляризаціи; при этомъ мы можемъ опредѣлить уголъ, на который повернуть одинъ индивидуумъ около другого, и половинная величина этого наблюдаемаго угла есть уголъ между одною изъ осей оптическаго эллипсоида и двойниковою осью кристалла.

Строго говоря, теперь пластинка должна быть вырѣзана параллельно двойниковой оси и одной изъ осей оптической упругости. Но если даже пластинка и отклонена отъ этого положенія на небольшой уголъ, то это почти не играетъ въ наблюденіи никакой роли; только нужно пластинку привести въ наклонное положеніе, при которомъ оптически-двойниковая ось параллельна оси микроскопа.

Мы только, что видѣли, что оптически-двойниковая ось должна быть перпендикулярна къ одной изъ осей оптическаго эллипсоида. Обозначеніе такихъ осей мы ставимъ въ зависимость отъ того, къ какой оси эллипсоида перпендикулярна оптически-двойниковая ось; а именно:  $B_q$  перпендикулярна къ оси  $n_q'$ ,  $B_m$  — къ оси  $n_m$  и  $B_p$  — къ оси  $n_p$ .

Особенно замѣчательнъ тотъ случай, когда ось эллипсоида перпендикулярна къ двойниковой оси кристалла <sup>1)</sup>. Въ этомъ случаѣ, уголъ  $QR$ , а равно и уголъ, имѣющій вершину въ точкѣ  $P$  прямые, а потому ось  $P$  есть ось вращенія въ  $180^\circ$ , а такъ какъ оптическія свойства пластинки не измѣняются при такомъ поворотѣ, то въ этомъ случаѣ оба индивидуума кажутся слившимися въ одинъ, т. е. мы имѣемъ частное рѣшеніе задачи, которою мы сейчасъ и займемся въ ея общемъ видѣ; а пока рассмотримъ, въ какомъ отношеніи другъ къ другу находятся оптическія свойства двухъ двойниковыхъ индивидуумовъ.

Предварительно замѣтимъ, что оптическія свойства подчиняются закону центра обратнаго равенства <sup>2)</sup>, представляютъ тотъ случай, который французскіе физики называютъ *cas d'égalité symétrique*. Съ другой стороны, въ ученіи о фигурахъ <sup>3)</sup> доказывается теорема, по которой, если изъ двухъ системъ, связанныхъ центромъ обратнаго равенства, одну повернемъ около оси, проходящей чрезъ этотъ центръ на  $180^\circ$ , то она приметъ такое положеніе по отношенію къ системѣ, оставшейся неподвижной, какъ будто имѣется плоскость симметріи, перпендикулярная къ оси поворота и проходящая чрезъ центръ.

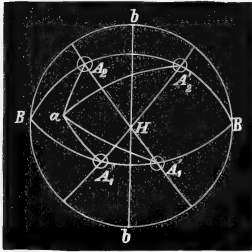
<sup>1)</sup> Въ рядѣ плагиоклазовъ случай этотъ встрѣчается у члена, близкаго къ андезину.

<sup>2)</sup> Неправильно называемаго, начиная съ Bravais, центромъ симметріи.

<sup>3)</sup> Начала ученія о фигурахъ, стр. 213.

Въ нашемъ случаѣ оптическая система кристалла есть система, имѣющая центръ обратнаго равенства; кристаллографически-двойниковая ось есть ось поворота одной изъ системъ на  $180^\circ$ . Поэтому, двойниковый кристаллъ въ оптическомъ отношеніи<sup>1)</sup> обладаетъ плоскостью симметріи, перпендикулярною къ двойниковой оси. На этомъ основаніи, зная какой-нибудь оптический элементъ, напр. направленіе въ одномъ изъ индивидуумовъ, мы легко найдемъ соответствующее направленіе и въ другомъ индивидуумѣ; и наоборотъ, мы легко найдемъ положеніе этого элемента въ первомъ индивидуумѣ по положенію во второмъ.

Пусть  $B$  (фиг. 36) означаетъ полюсъ двойной оси, а  $A_1$  и  $A_2$  оптическія оси одного индивидуума; въ такомъ случаѣ, плоскость  $bb$ , перпендикулярная къ этой оси, есть плоскость симметріи въ оптическомъ отношеніи, и положеніе оптическихъ осей въ другомъ индивидуумѣ будетъ  $A_1'$  и  $A_2'$ .



Фиг. 36.

§ 12. Теперь зададимся вопросомъ о нахожденіи такихъ сѣченій двойниковыхъ кристалла, въ которыхъ оба вида въ оптическомъ отношеніи неразличимы. Возьмемъ произвольный полюсъ  $a$  и соединимъ его дугами большого круга со всѣми 4-мя точками  $A$ . Въ общемъ случаѣ треугольнички  $aA_1A_2$  и  $aA_1'A_2'$  будутъ, конечно, различны; между тѣмъ какъ, по условіямъ заданія, должна быть найдена такая точка, чтобы эти треугольнички были одинаковы. Мало этого, еслибы треугольнички и были равны, но ихъ стороны, соединяющія  $a$  съ полюсами оптическихъ осей, не составляли бы однихъ и тѣхъ же дугъ большого круга, то хотя сѣченія

и были бы одинаковы въ оптическомъ отношеніи, но не были бы одинаково ориентированы, а это тоже противорѣчитъ условіямъ заданія. Отсюда легко находимъ способъ отысканія такихъ особыхъ направленій: нужно провести дуги большого круга, чрезъ полюсъ одной оптической оси одного индивидуума и чрезъ обѣ оси другого индивидуума. Двѣ точки пересѣченія этихъ дугъ, а именно точки  $B$  и  $H$  единственныя, удовлетворяющія условіямъ заданія.

Но первая изъ нихъ относится къ кристаллографически-двойниковой оси; оптическое значеніе этого направленія непосредственно ясно. Второе направленіе, соответствующее точкѣ  $H$ , мы будемъ называть главнымъ направленіемъ двойника.

Кромѣ этихъ направленій есть еще цѣлый рядъ другихъ, составляющихъ непрерывную линію, проходящую чрезъ  $B$  и  $H$ , которыя отличаются тѣмъ свойствомъ, что соответственные сѣченія двойниковъ погасаются одновременно. Для этого точки, напр.  $a$ , должны быть избраны такимъ образомъ: соединимъ полюсъ со всѣми 4-мя точками  $A$ ; нужно, чтобы уголъ  $A_2aA_3' = A_1aA_1'$ ; при соблюденіи этого условія равнодѣляція угловъ, выражающія направ-

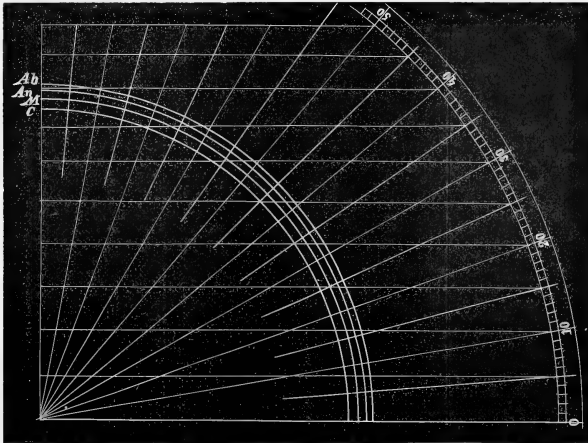
<sup>1)</sup> Если кристаллъ въ геометрическомъ отношеніи характеризуется присутствіемъ двойной оси (и плоскости) сложной симметріи (что равнозначно съ присутствіемъ центра обратнаго равенства), то та же плоскость есть также плоскость симметріи и въ геометрическомъ отношеніи; это составляетъ самый обыкновенный случай.

ления погасания, совмѣстятся между собою. Назовемъ эти направленія направленіями одновременнаго погасанія индивидовъ двойника.

Особенно замѣчательный случай будетъ тотъ, когда одна изъ оптическихъ осей, напр.  $A_2$  находится въ плоскости  $bb'$ ). Въ этомъ случаѣ направленіе оси  $A_2$  совмѣстится съ направленіемъ оси  $A_2'$ , и, такимъ образомъ, въ немъ соединяются свойства оптическихъ осей обоихъ индивидовъ и вмѣстѣ съ тѣмъ главнаго направленія, а равно и одной изъ оптически-двойниковыхъ осей. Въ этомъ случаѣ всѣ сѣченія пояса, проходящаго чрезъ  $A_2 = A_2'$  и  $B$  будутъ направленіями одновременнаго погасанія. Наконецъ, не лишень важности, при оптическомъ изученіи двойниковъ, также рядъ симметричныхъ сѣченій, соответствующихъ поясу  $bb$ .

Этому ряду принадлежатъ всѣ направленія оптически-двойниковыхъ осей, а также и главное направленіе. Легко понять, что различнымъ гранямъ этого пояса свойственны разные углы затемнѣнія, и что главное направленіе и есть именно тотъ случай, когда уголь этотъ  $0^\circ$ .

§ 13. Въ заключеніе слѣдуетъ сказать о перечисленіи результатовъ наблюденій, произведенныхъ въ воздушной средѣ, на истинныя. Для этого перечисленія нужно, строго говоря, всякій разъ определять коэффициентъ преломленія, принадлежащій наблюдаемому направленію. Главнѣйшими изъ всѣхъ опредѣленій являются тѣ, которыя относятся къ оптическимъ осямъ, а этимъ направленіямъ принадлежатъ, какъ извѣстно, средніе коэффициенты преломленія  $n_m$ .



Фиг. 37.

Соответственно этимъ среднимъ величинамъ коэффициентовъ преломленія и составлена прилагаемая діаграмма (фиг. 37). Для каждаго кристалла долженъ быть проведенъ особый

<sup>1)</sup> Въ рядѣ плагиоклазовъ этотъ замѣчательный случай относится къ ануриту.

кругъ. Круги, проведенные на этой диаграммѣ, относятся къ слѣдующимъ минераламъ: кругъ  $Ab$  — къ альбиту, кругъ  $An$  — къ анортиту, кругъ  $M$  — къ слюдѣ и кругъ  $C$  — къ кальциту. Для того, чтобы перейти отъ угла наблюдаемаго, положимъ для альбита, при изслѣдованіи въ воздухѣ, къ углу истинному, нужно отъ точки на окружности, выражающей величину наблюдаемаго угла, провести радиусъ векторъ до пересѣченія съ кругомъ  $Ab$ ; отъ точки пересѣченія провести горизонтальную прямую до пересѣченія съ окружностью. Тогда истинный уголъ непосредственно отсчитывается на этой окружности.

Для отысканія наблюдаемаго угла по истинному нужно произвести обратное построеніе.

Хотя при перечисленіи результатовъ по этому способу мы и дѣлаемъ ошибку, принимая коэффициентъ преломленія за постоянную величину (равную среднему коэффициенту преломленія  $n_m$ ), однако, можно сказать, что ошибка, дѣлаемая при такомъ перечисленіи, въ большинствѣ случаевъ будетъ весьма невелика, такъ какъ почти во всѣхъ случаяхъ разница между величинами коэффициентовъ преломленія весьма незначительна. При перечисленіи чиселъ, относящихся къ оптическимъ осямъ, результатъ даже совершенно точенъ.

---

#### IV. ОПТИЧЕСКІЯ КОНСТАНТЫ ПЛАГИОКЛАЗОВЪ.

§ 14. Мнѣ здѣсь не нужно говорить о томъ, какую роль играетъ опредѣленіе полевыхъ шпатовъ въ микроскопическихъ шлифахъ породъ. Такое опредѣленіе составляетъ наиболѣе частую и обыденную задачу петрографа. Соответственно этому много труда было потрачено какъ для опредѣленія оптическихъ константъ этого замѣчательнаго ряда минераловъ, такъ и для выработки удобнѣйшихъ способовъ ихъ химическаго и оптическаго опредѣленія.

При всемъ томъ вопросъ представляется далеко не исчерпаннымъ, и возможно простое и точное опредѣленіе въ шлифахъ составляетъ насущную потребность, хорошо ощущаемую каждымъ изслѣдователемъ, въ рукахъ котораго прошли тысячи микроскопическихъ препаратовъ.

Теперь я и представлю попытку такого упрощенія способовъ опредѣленія, основанную на употребленіи универсальнаго столика, который, какъ было видно изъ предыдущихъ главъ, даетъ въ руки новыя простыя манипуляціи для изученія минераловъ.

При изложеніи этой попытки я начну съ опредѣленія оптическихъ константъ этого ряда минераловъ, а затѣмъ покажу, какъ отсюда выводятся таблицы, служащія для ихъ опредѣленія, если они даны въ шлифахъ произвольнаго или опредѣленнаго сѣченія.

Конечно, этимъ будетъ дано лишь одно изъ приложеній метода теодолитно-оптическихъ изслѣдованій; но я остановился на первый разъ именно на этомъ приложеніи, такъ какъ оно мнѣ представляется особенно существеннымъ какъ въ минералогическомъ, такъ и петрографическомъ отношеніи.

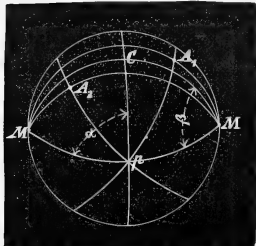
Оптическія константы какого-нибудь двуснаго минерала опредѣлены, если известно положеніе въ минералѣ обихъ оптическихъ осей, а также одинъ изъ коэффициентовъ преломленія. Для петрографическихъ цѣлей послѣднее опредѣленіе играетъ второстепенную роль, тогда какъ кристаллографическая ориентировка осей оптическаго эллипсоида и особенно оптическихъ осей весьма существенны.

Чтобы наглядно показать, въ какой мѣрѣ еще несовершенны наши знанія константъ полевыхъ шпатовъ, позволю себѣ обратить вниманіе на фиг. 103 (стр. 211) известной книги Michel Lévy (и Lascoix) «Les minéraux des roches», на которой полюсы трехъ осей оптического эллипсоида анортита образуютъ между собою углы, весьма отличающіеся отъ прямыхъ угловъ (напр. уголъ осей  $n_m$  съ плоскостью осей  $n_p n_g$  по чертежу составляетъ  $137\frac{1}{2}^\circ$ ). Такія данныя почти равносильны ихъ отсутствію.

Впрочемъ, для альбита и олигоклаза мы имѣемъ массу цѣнныхъ наблюдений Des-Cloizeaux<sup>1)</sup>, изъ которыхъ некоторыя оптическія константы могутъ быть выведены съ удовлетворительною точностью.

Но для всѣхъ плагиоклазовъ мы имѣемъ весьма существенныя для опредѣленія константъ данныя объ углахъ затемнѣнія по плоскостямъ (010) и (001). Въ наиболее полномъ видѣ и съ наибольшею критическою обработкою этихъ данныхъ, онѣ сгруппированы въ замѣчательномъ сочиненіи Max Schuster'a «Optische Verhältnisse der Plagioclase»<sup>2)</sup>. Таблица, приложенная къ его сочиненію, уже много лѣтъ служитъ руководителемъ при изслѣдованіяхъ полевыхъ шпатовъ, и я считаю себя вправѣ воспользоваться ею, какъ наиболее надежнымъ и точнымъ источникомъ, въ тѣхъ случаяхъ, когда непосредственныхъ наблюдений оказалось бы недостаточно, а также для того, чтобы опредѣлить положеніе изслѣдуемаго плагиоклаза въ ряду другихъ, не прибѣгая къ точному химическому его изслѣдованію.

Я сейчасъ покажу, что опредѣленіе константъ сокращается при употребленіи этой таблицы вдвое. Въ самомъ дѣлѣ, если для полного опредѣленія константъ необходимо опредѣлить ориентировку двухъ оптическихъ осей, то съ помощью этой таблицы достаточно опредѣленія одной изъ нихъ.



Фиг. 38.

Пусть  $A_2$  опредѣленное положеніе одной изъ оптическихъ осей; пусть  $p$  и  $M$  полюсы 3-го и 2-го пинакоидовъ (фиг. 38), для которыхъ известны углы затемнѣнія  $\alpha$  и  $\beta$ . Черезъ полюсы  $A_2$  и  $p$  проводимъ дугу большого круга, а также проводимъ дугу  $pC$  такъ, чтобы она составляла съ дугою  $MrM$  данный уголъ затемнѣнія  $\alpha$ , и, наконецъ, проводимъ еще дугу  $pA$ , такъ, чтобы  $\angle A_2 p C = \angle A_2 p C$ ; тогда на основаніи известной теоремы Френеля на дугѣ  $pA$ , будетъ находиться искомая другая оптическая ось.

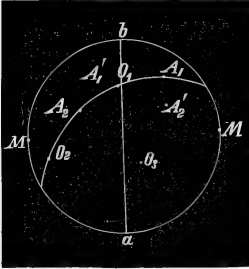
Эта ось, какъ точка пересѣченія двухъ дугъ, опредѣлится вполне, если такое же построеніе мы примѣнимъ и по отношенію къ плоскости  $M$ , для которой данъ уголъ затемнѣнія  $\beta$ . Мы проводимъ, именно, дугу большого круга  $A_2 M$  и еще такую же дугу  $MC$  такимъ образомъ,

<sup>1)</sup> Nouvelles recherches sur l'écartement des axes optiques etc. Bul. de la Soc. minéral. de France, 1883 T. X, p. 89.

<sup>2)</sup> Tschermak's Mineralogische Mittheil. 1880, III, 117 и 1882, I, 189.

чтобы уголъ  $\rho MC$  былъ равенъ данному углу затемнѣнія  $\beta$ . Тогда легко найдемъ и дугу  $MA_1$  такимъ образомъ, чтобы  $\angle A_1MC = \angle A_2CM$ . Точка  $A_1$  пересѣченія обѣихъ найденныхъ дугъ и даетъ положеніе второй оптической оси.

Теперь, для нахождения осей оптического эллипсоида мы проводимъ дугу большого круга  $A_1A_2$ . Биссектрисы  $O_1$  и  $O_2$  угла  $A_1A_2$ , а также полюсъ  $O_3$  этой дуги и есть искомыя оси эллипсоида (фиг. 39).



Фиг. 39.

Если мы желаемъ найти положеніе оптическихъ элементовъ въ обѣихъ индивидуумахъ двойника, образованнаго по альбитовому закону, намъ нужно только провести дугу большого круга (въ данномъ случаѣ прямую)  $b$ , по отношенію которой точки  $M$  были бы полюсы, и опредѣлить точки  $A_1'$  и  $A_2'$  симметричныя по отношенію къ этой дугѣ. Эти точки выразятъ положеніе оптическихъ осей другого индивидуума двойника по отношенію къ первому; а изъ положенія оптическихъ осей легко перейти къ положенію осей эллипсоида второго индивидуума.

Зная же относительное положеніе оптическихъ осей и осей эллипсоида обѣихъ индивидуумовъ, мы на основаніи изложеннаго въ предыдущей главѣ построенія легко найдемъ и положеніе главнаго направленія и оптически-двойниковыхъ осей.

Итакъ, пользуясь таблицей Max Schuster'a, мы можемъ теперь ограничиться опредѣленіемъ кристаллографической ориентировки одной изъ оптическихъ осей.

Въ большинствѣ случаевъ для этой цѣли предпочтительнѣе выбрать ось, означенную  $A_2$  какъ такую, которая образуетъ не очень большой уголъ съ полюсомъ  $M$ ; этотъ выборъ ставитъ насъ внѣ зависимости отъ вѣрности изготовленія микроскопическаго препарата <sup>1)</sup>.

Въ самомъ дѣлѣ, пусть напр. шлифъ ошибочно изготовленъ такъ, что полюсъ плоскости шлифа приходится не въ  $M$ , а въ нѣкоторой точкѣ  $x$ . Тогда мы сначала наклоняемъ пластинку такъ, чтобы направленіе распространенія волны слѣдовало бы по оптической оси  $A_2$ , и пусть

<sup>1)</sup> Насколько важно достигнуть независимости отъ степени точности приготовленія шлифа, можно видѣть изъ слѣдующихъ словъ С. Klein'a:

„Jedenfalls lehrt aber die Betrachtung der Anorthitcurve schon jetzt, dass die Normalauslöschungswerthe dieses Feldspaths nur durch Schriffe von höchster Genauigkeit bezüglich der Lage erlangt werden können und dass ohne grosse Sorgfalt hergestellte Schriffe, die einer bestimmten Lage entsprechen sollen, unter einander sehr abweichende Werthe geben werden. Ist doch der Anorthit bekannt wegen der Inconstanz der optischen Eigenschaften bei so sehr constanten geometrischen! Gewiss wird diese mit Recht auffallende Thatsache durch das Vorstehende mit erklärt werden und die natürliche Deutung zulassen, dass die optische Anlage eine in sich gefestigte ist, dass aber bei geringer Aenderung der Schriffelage, vornehmlich in der Nähe der Basis, leicht andere als die normalen Werthe gefunden werden.“ (Sitzungsber. d. Berliner Akad. d. Wiss. zu Berlin, 1891. H. IV, S. 197).

Мнѣ очень пріятно имѣть возможность лично подтвердить справедливость этихъ замѣчаній известнаго нѣмецкаго минералога.

при этомъ наблюдаемыя координаты будутъ  $A_0, \alpha_0$ , а затѣмъ наклоняемъ такъ, чтобы направление распространения волны слѣдовало бы по двойниковой оси  $M$ . Мы легко опредѣлимъ это наклоненіе, разыскивая то положеніе, при которомъ оба индивидуума двойника въ оптическомъ отношеніи сливаются какъ бы въ одинъ индивидуумъ; пусть теперь координаты  $A_0', \alpha_0'$ .

По координатамъ  $A_0, \alpha_0$  и  $A_0', \alpha_0'$  мы легко вычислимъ кажущійся уголъ, образуемый двойниковою осью съ оптической осью  $A_2$ . Однако, при этомъ мы теряемъ вторую существенную данную для ориентировки оптической оси, а именно уголъ  $A_2Mp$ , образуемый направлениемъ оси, вращеніе около которой переводитъ пластинку изъ положенія  $M$  въ положеніе  $A_2$ , со слѣдомъ спайности по 3-му пинаконду. Конечно, если ошибка въ шлифъ очень мала, то такой уголъ мы можемъ опредѣлить непосредственно.

Такимъ образомъ, оптическія опредѣленія плагиоклазовъ упрощены до крайности и сводятся къ одному простому наблюденію пластинки, вырѣзанной параллельно 2-му пинаконду (010).

### Анортитъ (съ Везувія).

§ 15. При пересмотрѣ препаратовъ анортита тотчасъ же на пластинкѣ, вырѣзанной по 3-му пинаконду, было открыто замѣчательное оптическое свойство, а именно, что направленія оптическихъ осей  $A_1$  и  $A_1'$  въ обоихъ индивидуумахъ совпадаютъ между собою. вмѣстѣ съ тѣмъ это направленіе есть <sup>1)</sup> направленіе оптически-двойниковой оси  $B_m$  и главное направленіе (какъ это и показано на фиг. 7). Углы наклоненія въ двухъ шлифахъ по 3-му пинаконду оказались настолько различными, что можно смѣло заключить о невѣрности одного изъ шлифовъ или обоихъ (въ одномъ уголъ наклоненія  $32^\circ$ , въ другомъ  $45^\circ$ ; по фиг. 37 первому соответствуетъ истинный уголъ  $49\frac{1}{2}—20^\circ$ , а второму  $26\frac{1}{2}$ ).

Для того, чтобы опредѣлить направленіе, въ которомъ нужно наклонять пластинку, чтобы привести къ оптической оси, весьма удобно пользоваться наблюденіемъ граней (110) и (110). Легко констатировать, что при установкѣ на оптическую ось, ребро пересѣченія этихъ граней (т. е. вертикальная ось [001]) приближается къ параллельности съ осью микроскопа, составляя съ нимъ весьма небольшой уголъ, прамѣрно около  $5^\circ$ .

Такимъ образомъ, вслѣдствіе сомнительности препаратовъ по плоскости (001) придется обратиться къ шлифамъ по (010).

<sup>1)</sup> Замѣчаются слѣды неполнаго совпаденія обѣихъ оптическихъ осей, но во всякомъ случаѣ уголъ несоваденія не превышаетъ  $1^\circ$ .



Лучшіе результаты, полученные на одномъ изъ препаратовъ, доставили слѣдующія числа

Установка на слѣдъ спайности по (001) . . . . .	$0^\circ; 0^\circ$ <sup>1)</sup> .
Оптическая ось одного индивидуума . . . . .	$64^\circ; -1^\circ$ .
Оптическая ось другого индивидуума . . . . .	$62^\circ; -3\frac{1}{2}^\circ$ .
Уголь затемнѣнія . . . . .	$+36^\circ$ .

На основаніи этихъ данныхъ составлена приложенная діаграмма для анорита (табл. V, фиг. 7).

Для проверки этой діаграммы произведены были довольно многочисленныя наблюденія, давшія удовлетворительныя, въ общемъ, результаты. Къ сожалѣнію, въ большинствѣ случаевъ нельзя рассчитывать на очень точную проверку, такъ какъ шлифы ориентированы болѣею частью не очень точно.

Въ специально изготовленномъ шлифѣ, сдѣланномъ перпендикулярно къ вертикальной оси, констатировано, что для приведенія въ положеніе оптической оси пластинку дѣйствительно нужно наклонить на  $10^\circ$  (что соответствуетъ дѣйствительному углу около  $6\frac{1}{2}^\circ$ ), какъ это и непосредственно вытекаетъ изъ діаграммы.

### Витовнитъ.

Хорошій образчикъ шлифовъ этого минерала изъ коллекціи сибирскихъ породъ, доставленныхъ г. Лопатинымъ, подъ именемъ траппа изъ Песеговскаго завода <sup>2)</sup>.

Въ шлифѣ по плоскости (001) приблизительно наблюдалось:

Установка по двойному шву . . . . .	$0^\circ; 0^\circ$ .
Затемнѣніе . . . . .	$-15^\circ$ .
Установка на оптическую ось . . . . .	$40^\circ; 21\frac{1}{2}^\circ$ .

Въ виду нѣкоторой сомнительности этого опредѣленія, для лучшаго изученія и составленія діаграммы я воспользовался еще шлифомъ по плоскости (010):

Первоначальная установка по плоскости спайности . . . . .	$0^\circ; 0^\circ$ .
Затемнѣніе въ разныхъ слояхъ измѣняется . . . . .	отъ $+18^\circ$ до $+24^\circ$
Но преобладающимъ является затемнѣніе . . . . .	$+24^\circ$ .
Установка на оптическую ось . . . . .	$62^\circ; -5^\circ$ .

Спеціальная діаграмма по этимъ даннымъ на фиг. 6, табл. V.

<sup>1)</sup> Ради краткости въ этомъ и во всѣхъ остальныхъ случаяхъ я приводилъ не тѣ случайныя числа, которыя мною считывались непосредственно, а числа редуцированныя, легко выводившіяся изъ наблюдаемыхъ посредствомъ простаго вычитанія.

<sup>2)</sup> Этотъ и слѣдующій шлифы выбраны мною изъ обширной коллекціи К. Д. Хрущева, любезно предоставившаго ее мнѣ въ распоряженіе, за что я и считаю долгомъ выразить ему свою сердечную благодарность.

Въ виду того, что для обоихъ минераловъ годными для наблюденій оказались лишь шлифы по (001) [а не по (010)] т. е. такіе, вѣрность которыхъ не можетъ быть проверена непосредственно, я и не считаю полученные результаты за достаточно точныя.

**Витовнитъ-лабрадоръ.**

Хорошій образчикъ этого минерала найденъ мною въ коллекціи шлифовъ изъ габбро долины Койсеу въ Туркестанѣ, доставленныхъ И. В. Мушкетовымъ.

Однако, годнымъ для наблюдений оказался лишь одинъ шлифъ по (001). Наблюдалось

Первоначальная установка по двойниковому шву . . . . .  $0^\circ; 0^\circ$ .

Затемніе . . . . .  $-9^\circ$ .

Установка на оптическую ось . . . . .  $56^\circ; 39\frac{1}{2}^\circ$ .

Спеціальная діаграмма фиг. 5, табл. V.

Для проверки могъ бы служить шлифъ, случайно приготовленный перпендикулярно оптической оси одного изъ индивидуумовъ двойника.

При этомъ въ однихъ полоскахъ наблюдался уголъ затемніе  $+20^\circ$ , а въ другихъ  $-32^\circ$  (?). Изъ діаграммы же (фиг. 40) выводится уголъ затемніе около  $19^\circ$ .

**Лабрадоръ** (изъ Лабрадора).

Однимъ изъ наиболее надежныхъ наблюдений, было слѣдующее наблюдение пластинки, вырѣзанной по (010):

Первоначальная установка по спайности . . . . .  $0^\circ; 0^\circ$ .

Установка по оптической оси 1-го индивида . . . . .  $70^\circ; -18\frac{1}{2}^\circ$ .

» » » » 2-го » . . . . .  $70^\circ; -12\frac{1}{2}^\circ$ .

Уголъ затемніе  $15\frac{1}{2}^\circ$ .

Выравниваніе этихъ чиселъ графическимъ путемъ и перечисленіе въ истинныя числа дали:  $37^\circ; -15^\circ$ . По этимъ даннымъ составлена спеціальная діаграмма (фиг. 4, табл. IV).

Довольно близкія числа получались и для другихъ препаратовъ, напр.:

Первоначальная установка спайности . . . . .  $0^\circ; 0^\circ$ .

Уголъ затемніе . . . . .  $+14^\circ$ .

Установка на оптическую ось 1-го индивида . . . . .  $65^\circ; -15^\circ$ .

» » » » 2-го » . . . . .  $69^\circ; -12^\circ$ .

Въ некоторыхъ другихъ отклоненія были еще болѣе значительны, но по разнымъ причинамъ результаты менѣе надежны.

Между прочимъ, въ шлифъ по (001) было опредѣлено главное направленіе:  $27^\circ; -33\frac{1}{2}^\circ$ , откуда, впрочемъ, приходится заключить о небольшой неточности препарата.

§ 16. Что касается андезина, то мнѣ не удалось получить точно ориентированнаго шлифа этого минерала, пригоднаго для болѣе или менѣе надежнаго опредѣленія константъ. Однако, тотъ фактъ, что одна изъ осей ( $n_p$ ) почти строго параллельна оси [100] указываетъ довольно точно на мѣсто, принадлежащее этому минералу въ ряду другихъ плагиоклазовъ.

Препараты олигоклаза и альбита, приготовленные по плоскости (010) показали невозможность непосредственнаго опредѣленія въ воздухѣ угла между нормалью къ (010) и осью  $A_2$ , откуда заключаемъ, что этотъ уголъ превосходить  $40^\circ$ ; но для альбита можно пластинку привести довольно близко къ оптической оси; что же касается олигоклаза, то и близкаго приведенія, оказывается, выполнить невозможно. Это обстоятельство чрезвычайно затрудняетъ надежное опредѣленіе, такъ какъ на ориентированные препараты нельзя очень полагаться. Но за то именно для этихъ минераловъ мы обладаемъ рядомъ цѣнныхъ наблюдений Des-Cloizeaux.

Въ основаніе своего опредѣленія я положилъ шлифъ, изготовленный по плоскости (110), для котораго наблюдалось:

Первоначальная установка по двойниковому шву . . .	$0^\circ; 0^\circ$ .
Установка на оптическую ось 1-го индивидуума . . .	$37^\circ; -55^\circ$ .
» » » » 2-го » . . .	$40^\circ; -65^\circ$ .

Отсюда, между прочимъ, выводимъ, что уголъ, образуемый оптическими осями обихъ индивидуовъ имѣетъ величину около  $5^\circ$ .

Диаграмма (фиг. 3 табл. IV), относящаяся къ олигоклазу, выведена не сразу, а путемъ нѣсколькихъ приближеній; въ основу ея положено только-что приведенное наблюдение по (110), затѣмъ отъскакивалось положеніе другой оптической оси въ томъ же индивидуумѣ, а равно и положеніе оптическихъ осей въ другомъ индивидуумѣ. Найденная точка передвигалась, пока углы затемнѣнія, а равно и уголъ между оптическими осями не получились близкподходящій къ наблюдаемымъ.

Многочисленные другія наблюденія послужили для приблизительной повѣрки, напр. для главнаго направленія въ олигоклазѣ изъ Tvedstrand, вырѣзанномъ по (001), найдены углы  $39^\circ$  ( $=$  истинному  $24^\circ$ ) въ сторону увеличенія разности хода <sup>1)</sup>. Въ шлифѣ, перпендикулярномъ къ оси [100], найдены углы затемнѣнія индивидуумовъ  $-2^\circ$  и  $+6^\circ$  и т. д.

Для составленія диаграммы альбита (фиг. 2, табл. IV), данныя Des-Cloizeaux оказываются особенно пригодными. Изъ нихъ, между прочимъ, слѣдуетъ, что обѣ оптическія оси расположены почти симметрично относительно плоскости, проходящей чрезъ нормаль къ [010] и чрезъ вертикальную ось [001].

Чтобы, однако, оцѣнить степень несимметричности былъ сдѣланъ шлифъ перпендикулярно этой оси, и при этомъ оказалось, что направленіе затемнѣнія дѣлаетъ съ двойниковымъ швомъ уголъ  $\pm 1\frac{1}{2}^\circ$ . Для приблизительнаго опредѣленія положенія оптической оси  $A_2$  наблюдаемъ шлифъ по плоскости (010); но такъ какъ при этомъ установить на оптическую ось

<sup>1)</sup> Впрочемъ, именно для олигоклаза положеніе главнаго направленія опредѣляется чрезвычайно неточно (по причинѣ малости угла между осями обихъ индивидуумовъ).

точно не возможно (хотя при большихъ наклоненіяхъ это достигается приближенно), то сначала полюсъ избирался приближенно, причемъ за уголъ между оптическими осями принимался уголъ  $78^\circ—80^\circ$ , согласно даннымъ Des-Cloizeaux и Max Schuster'a.

Многочисленныя другія наблюденія приблизительно подтвердили правильность составленнаго діаграммы. Изъ нихъ важнѣйшимъ служитъ наблюденіе въ препаратѣ, приготовленномъ перпендикулярно къ вертикальной оси, причемъ наблюдалось положеніе главнаго направленія, которое составляетъ съ вертикальною осью уголъ  $6^\circ—7^\circ$  (что соответствуетъ истинному углу около  $4^\circ$ , какъ это и получилось на діаграммѣ).

На фиг. 8, табл. V сопоставлены главныя оптическія данныя, относящіяся къ плагиоклазамъ, а именно оси оптическаго эллипсоида, означенныя чрезъ  $n_g$ ,  $n_m$  и  $n_p$ , а равно и оптическія оси, означенныя  $A_1$  и  $A_2$ . Изъ нея особенно наглядно вырисовывается та особенность олигоклаза, близкаго къ андезиту, что ось  $n_g$  очень близко подходитъ къ оси перпендикулярной къ плоскости  $M$  (010). Другими словами, этотъ членъ ряда плагиоклазовъ въ оптическомъ отношеніи весьма приближается къ моноклиннымъ минераламъ, и что особенно замѣчательно, онъ, и только онъ, становится оптически изоморфнымъ съ ортоклазомъ. Для наглядности приложена также діаграмма ортоклаза (фиг. 4, табл. IV), выражающая его оптическія свойства (въ этой діаграммѣ подразумѣвается Карльсбадскій законъ двойниковъ).

Если принять еще во вниманіе, что и въ геометрическомъ отношеніи этотъ членъ ряда наиболее приближается къ условіямъ, характеризующимъ моноклинную симметрію, то здѣсь мы имѣемъ подтвержденіе идеи, выразившейся разными учеными въ разное время, а именно той, что близость геометрическихъ свойствъ связана съ близостью свойствъ оптическихъ. Выраженіе этой идеи мы находимъ между прочимъ въ *Lehrbuch der Physikalischen Mineralogie* Schrauf'a (Bd. II, S. 303), затѣмъ у автора этого сочиненія (Горный журналъ 1891, № 1); эта же идея развивается въ заключеніи одного сочиненія Вырубова (*Bul. de la Soc. min. Fr.* XIV, № 8).

## У. ПРИЛОЖЕНІЕ МЕТОДА ИЗСЛѢДОВАНІЯ ПЛАСТИНОКЪ ВЪ ПАРАЛЛЕЛЬНОМЪ СВѢТѢ КЪ ОПРЕДѢЛЕНІЮ ПОЛЕ- ВЫХЪ ШПАТОВЪ ВЪ МИКРОСКОПИЧЕСКИХЪ ПРЕПАРАТАХЪ.

§ 17. Знакомство съ оптическими константами полевыхъ шпатовъ и составленіе оптическихъ діаграммъ даетъ въ руки много различныхъ способовъ для ихъ опредѣленія, и теперь я разсмотрю подробнѣ каждый изъ нихъ, чтобы взвѣсить недостатки и преимущества каждаго.

Наилучшая установка, наименѣе зависящая отъ ориентировки шлифа производится по оптической, по кристаллографически-двойниковой оси и по главному направленію. Поэтому, я и начну съ разсмотрѣнія тѣхъ случаевъ, когда въ препаратѣ имѣется сѣченіе, близко отвѣчающее одному изъ указанныхъ направленій.

### Сѣченія, перпендикулярныя къ оптической оси $A_1$ .

На приложенной діаграммѣ показаны величины кажущихся угловъ, образуемыхъ оптической осью другого индивидуума двойника. Эта другая ось можетъ быть ось  $A_1'$ , т. е. ось, соответствующая той, перпендикулярно которой имѣется сѣченіе перваго индивидуума, или же ось  $A_2'$ . Соответственно этимъ двумъ случаямъ мы должны бы были имѣть двѣ кривыя. Къ сожалѣнію, имѣющихся данныхъ слишкомъ для этого недостаточно, и мы должны ограничиться отмѣткою нѣсколькихъ точекъ этихъ кривыхъ. Кривыя же, соединяющія эти точки и проведенныя пунктиромъ, еще остаются весьма проблематичными. Особенно слабымъ мѣстомъ составленной діаграммы является кривая, выражающая углы затемнѣнія 2-го индивидуума и обозначенная буквами  $O'$ . То искривленіе этой кривой, которое приблизительно соответствуетъ олигоклазу, показано не на основаніи опредѣленія отдѣльныхъ точекъ (этихъ данныхъ, къ сожалѣнію, не имѣется), а на основаніи изученія общей діаграммы полевыхъ шпатовъ. Во

всякомъ случаѣ, это крутое искривленіе ясно показываетъ, что для относящихся сюда плагиоклазовъ уголъ затемнѣнія не играетъ особенной роли.



Фиг. 40.

Наблюденія, которыя мнѣ пришлось сдѣлать надъ препаратами плагиоклазовъ, близкихъ къ олигоклазу, въ сѣченіяхъ, о которыхъ идетъ рѣчь (какъ случайныхъ сѣченіяхъ посреди множества изслѣдованныхъ мною петрографическихъ препаратовъ), въ полной мѣрѣ подтверждаютъ характеръ этой кривой. Въ самомъ дѣлѣ, въ одномъ изъ такихъ препаратовъ, въ которомъ оба подвида двойника представляли не однородный олигоклазъ, а непрерывный рядъ близкихъ къ нему членовъ, можно было, установивъ часть одного индивидуума на оптическую ось, видѣть, при поворачиваніи столика, постепенное измѣненіе угла затемнѣнія 2-го индивидуума въ широкихъ предѣлахъ нѣсколькихъ десятковъ градусоувъ.

Теперь выведемъ изъ нея правила для опредѣленія: Если одно изъ сѣченій двойниковаго кристалла хоть приблизительно перпендикулярно къ оптической оси  $A_1$ , мы пытаемся установить на оптическую ось и сѣченіе другого индивидуума. Уголъ этотъ болѣе или мене достигимъ при наблюденіяхъ въ воздухѣ для альбита-андезина съ одной стороны и анортита-битовнита — съ другой; только для лабрадора и ближайшихъ членовъ ряда плагиоклазовъ вплоть до битовнита, уголъ этотъ является недостижимымъ.

Итакъ, если уголъ между осями меньше  $20^\circ$ — $30^\circ$  въ воздухѣ, то плагиоклазъ есть анортитъ, и для него уголъ затемнѣнія около  $20^\circ$ ; или же онъ близокъ къ олигоклазу, и тогда уголъ затемнѣнія неопредѣленный. Если уголъ  $30^\circ$ — $44^\circ$ , то плагиоклазъ или битовнитъ (уголъ затемнѣнія около  $20^\circ$ ) или альбитъ (уголъ затемнѣнія  $(-40^\circ)$ — $(-50^\circ)$ ) или же, наконецъ, андезитъ (тоже большой уголъ затемнѣнія).

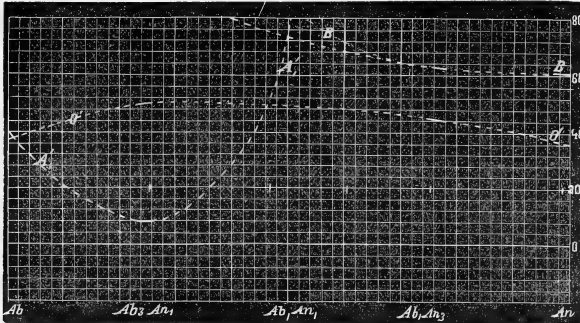
Какъ мы увидимъ сейчасъ, относящіяся сюда сѣченія легко отличить отъ сѣченій, перпендикулярныхъ къ оси  $A_2$ , по тому признаку, что у послѣднихъ всегда уголъ затемнѣнія всегда великъ. Здѣсь онъ великъ только у членовъ, ближайшихъ къ альбиту (и андезину). Въ случаѣ альбита для опредѣленія почти безразлично, имѣемъ ли мы то или другое сѣченіе.

Добавочнымъ при опредѣленіи ряда анортитъ-битовнитъ можетъ служить приведеніе къ главному направленію, которое требуетъ даже меньшаго наклоненія препарата, чѣмъ приведеніе къ оптической оси  $A_1'$  для всѣхъ плагиоклазовъ. Это единственное отличие отъ кривой для сѣченій, перпендикулярныхъ къ оси  $A_1$ .

### Сѣченія, перпендикулярныя къ оптической оси $A_2$ .

§ 18. Для этихъ сѣченій кривая, относящаяся къ углу съ оптической осью  $A_1'$  остается, конечно, та же самая; но углы затемнѣнія для другого индивидуума выражаются кривой, удаленной отъ горизонтальной прямой, т. е. болѣе или менѣе постоянны и притомъ велики для всѣхъ плагиоклазовъ. Это существенное отличие отъ кривой для сѣченій, перпендикулярныхъ къ оси  $A_1$ .

Такимъ образомъ, здѣсь, при той же величинѣ угла съ оптической осью  $A_1'$ , углы затемнѣнія для альбита-андезина все время остаются въ предѣлахъ  $36^\circ$ — $50^\circ$ .



Фиг. 41.

Для ряда андезитъ-анортитъ приведеніе къ оптической оси другого индивидуума въ воздухѣ становится недостижимымъ. Но зато для ряда анортитъ-лабрадоръ становится возможнымъ привести къ двойниковой оси  $B$ , хотя для этого и нужно подвергать пластинку очень большому наклоненію. Различать члены ряда анортитъ-лабрадоръ для этихъ сѣченій становится труднымъ, хотя изъ диаграммы видно, что уголъ затемнѣнія при переходѣ отъ анортита къ лабрадору нѣсколько, впрочемъ незначительно, уменьшается.

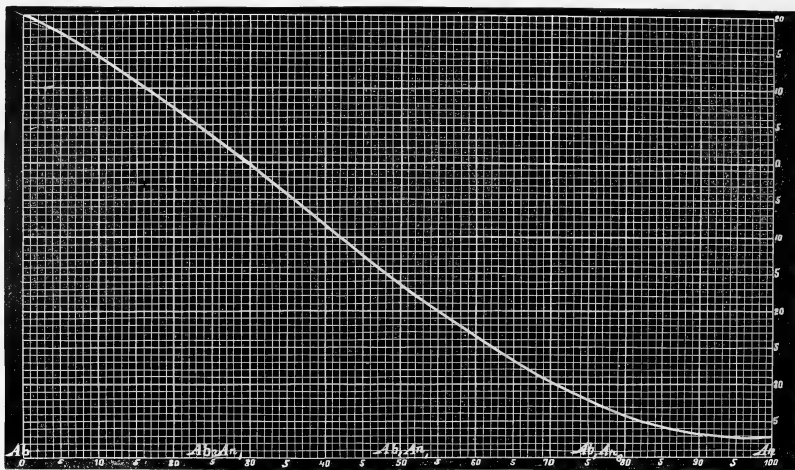
Также изъ общей схемы плагіоклазовъ можно видѣть, что для апорита уголъ, дѣлаемый слѣдомъ спайности съ двойниковымъ швомъ, близокъ къ  $90^\circ$ ; для битовнита уголъ этотъ чувствительно отличается отъ прямого.

Приведенныя здѣсь двѣ діаграммы являются уже почти достаточными для большинства препаратовъ, въ которыхъ имѣется достаточное число сѣченій плагіоклаза. Только для членовъ андезина-битовнита признаки получаются отрицательные: невозможность привести ни къ оптической оси другого индивидуума, ни къ кристаллографически-двойниковой оси.

### Сѣченія, перпендикулярныя къ кристаллографически-двойниковой оси $B$ .

§ 19. Здѣсь я имѣю въ виду только двойниковую ось по альбитовому закону, и, слѣдовательно, сѣченія, приблизительно параллельныя плоскости (010).

Если бы такое сѣченіе было дано съ точностью, то для опредѣленія мы могли бы прямо пользоваться діаграммой Макса Шюстера (фиг. 42); въ случаѣ приблизительныхъ сѣченій, мы можемъ однако наклонять препаратъ и приводить его болѣе точно въ это положеніе.



Фиг. 42.

Но для прямыхъ опредѣленій по этой діаграммѣ существенно необходимо различать положительные и отрицательные углы. Универсальный столикъ даетъ для этого весьма простое



средство: нужно только наклонять пластинку въ сторону приведенія къ оптической оси  $A_2$ , поставивъ ось вращения перпендикулярно слѣдамъ спайности по (001). При этомъ, если повернемъ пластинку еще другому вращенію, то, вообще, цвѣта поляризаціи въ одну сторону будутъ повышаться, а въ другую понижаться. То направленіе, которое соответствуетъ пониженію цвѣтовъ, мы должны считать положительнымъ, а противоположное отрицательнымъ.

Только для анортита и для альбита намъ нельзя такимъ образомъ опредѣлить знака угла затемненія. Но зато именно для этихъ членовъ вполне достаточною характеристикою служатъ абсолютныя величины самыхъ угловъ. Если, напр., уголъ затемненія около  $20^\circ$ , то это будетъ лабрадоръ, для котораго отчетливо находимъ отрицательный знакъ этой величины, по только-что приведенному правилу; въ противномъ случаѣ мы имѣемъ дѣло съ альбитомъ.

Кромѣ того, для ряда анортитъ-битовнитъ мы можемъ привести препаратъ къ оптической оси  $A_2$ , и такимъ образомъ имѣть существенную данную для опредѣленія. Въ случаѣ анортита пластинку нужно наклонить на  $61^\circ$ ; въ случаѣ битовнита — около  $64^\circ$ ; въ случаѣ лабрадора на  $74^\circ$  (фиг. 41).

Наконецъ, въ случаѣ олигоклаза, сѣченіе это почти перпендикулярно къ оси  $n_3$ , и потому имѣется возможность произвести еще повѣрку по вышеописанному.

### Сѣченія, перпендикулярныя главному направленію.

§ 20. Эти сѣченія съ сѣченіями, перпендикулярными къ кристаллографически-двойниковой оси; имѣютъ то общее, что въ положеніи (прямого) затемненія оба индивидуума двойника сливаются въ одинъ. Но есть и въ высшей степени существенная разница въ томъ отношеніи, что при другихъ положеніяхъ пластинки, различіе обоихъ индивидуумовъ, а вмѣстѣ съ тѣмъ и двойниковый шовъ, вырисовываются съ полною отчетливостію, въ случаѣ же кристаллографически-двойниковой оси, слитіе обоихъ индивидуумовъ имѣетъ мѣсто при всѣхъ положеніяхъ пластинки.

Различіе весьма легко произвести и по нѣкоторымъ второстепеннымъ признакамъ.

Для ряда анортитъ-лабрадоръ вообще можно пластинку привести въ положеніе близкое къ тому, которое соответствуетъ оптической оси ( $A_1$  для главнаго направленія и  $A_2$  для двойниковой оси). При этомъ, въ случаѣ главнаго направленія двойниковый шовъ рѣзко вырисовывается при малѣйшемъ отклоненіи пластинки отъ первоначальнаго положенія. Опредѣленіе ряда анортитъ-битовнитъ весьма чувствительное. Напротивъ того, въ случаѣ двойниковой оси, двойниковый шовъ вовсе не вырисовывается или вырисовывается весьма неотчетливо, и опредѣленіе плагиоклаза ряда анортитъ-лабрадоръ по углу приведенія къ оптической оси мало чувствительно.

Для анортита, какъ извѣстно, главное направленіе совпадаетъ съ оптической осью  $A_1$ , для битовнита нужно пластинку наклонить на  $26^\circ$ ; для лабрадоръ-битовнита такое наклоненіе уже доходить до  $50^\circ$ .

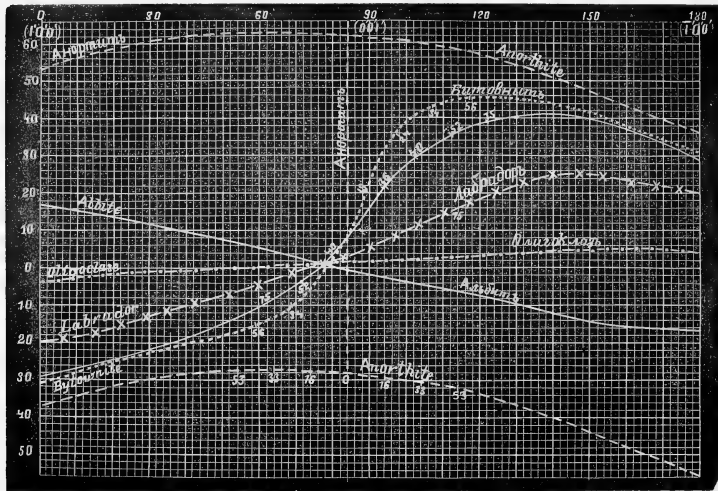
Для членовъ ряда альбитъ-андезитъ приведеніе къ оптической оси невозможно, но зато удобно приведеніе къ сѣченію, перпендикулярному къ оси  $n_m$ , т. е. тому, которому соответствуетъ высшій цвѣтъ поляризаціи.

Для различія плагіоклазовъ этого ряда не столь существенно опредѣленіе величины угла приведенія къ оси  $n_m$ ; этотъ уголъ не можетъ быть опредѣленъ съ удовлетворительною точностью. Но здѣсь главное — опредѣлить направленіе оси вращения, необходимаго для этого приведенія. Въ случаѣ альбита, это ось почти параллельна двойниковому шву, въ случаѣ олигоклаза она къ нему почти перпендикулярна.

Главное направленіе принадлежитъ симметричному поясу, о которомъ рѣчь будетъ дальше; но это также служитъ для его характеристики, такъ какъ мы можемъ данное сѣченіе подвергнуть такому вращенію, чтобы послѣдовательныя положенія пластинки соответствовали бы симметричному сѣченію (т. е. давали бы въ обѣ стороны равные углы затемнѣнія и одинаковые цвѣта интерференціи).

### Сѣченія симметричнаго пояса.

§ 21. Опредѣленіе плагіоклазовъ по сѣченіямъ, принадлежащимъ этому поясу, было предложено еще въ 1878 году французскимъ ученымъ Michel Levy. Однако, при составленіи своей



Фиг. 43.

діаграммы я пользовался не готовой діаграммой этого ученаго, а опредѣлялъ точки всѣхъ кривыхъ путемъ графическихъ рѣшеній по діаграммамъ плагиоклазовъ, составленнымъ мною. Особенно значительное различіе получилось въ видѣ кривой, относящейся къ аортиту. Эта кривая обладаетъ совершенно особымъ свойствомъ, а именно тѣмъ, что она въ сѣченіи, соответствующемъ главному направленію (и въ тоже время оптической оси  $A_1$ ) пересекается прямою, перпендикулярною къ оси абсциссъ, что указываетъ на полное затемнѣніе для всѣхъ азимутовъ.

Разсматриваніе этой таблицы приводитъ къ слѣдующимъ правиламъ опредѣленія плагиоклазовъ въ сѣченіяхъ этого пояса:

1) если уголъ затемнѣнія превосходитъ  $30^\circ$ , то имѣемъ аортитъ или битовнитъ.

2) если уголъ затемнѣнія равенъ или меньше  $30^\circ$ , то аортитъ и битовнитъ легко опредѣляются по тому свойству, что изъ этихъ сѣченій пластинки могутъ быть приведены къ оптической оси. Цифрами показаны углы въ воздухѣ, на которые нужно повернуть пластинку, чтобы привести къ оптической оси.

3) если плагиоклазъ не битовнитъ и не аортитъ, но уголъ затемнѣнія превосходитъ  $17^\circ—18^\circ$ , то это лабрадоръ или ближайшіе къ нему члены.

4) если уголъ затемнѣнія больше  $6^\circ$ , то передъ нами не олигоклазъ.

Для того, чтобы при величинѣ угла затемнѣнія въ предѣлахъ  $6^\circ—18^\circ$  отличить лабрадоръ отъ альбита, мы должны испытать, можно ли пластинку привести къ оптической оси или по крайней мѣрѣ въ положеніе, близкое къ этому. Если да, то минераль лабрадоръ. Если нѣтъ, то мы должны пытаться привести къ оси  $n_m$ , т. е. къ высшему цвету поляризаціи. Пластинка лабрадора<sup>1)</sup> приводится ближе всего въ такое положеніе при углѣ затемнѣнія въ  $10^\circ$ , тогда какъ пластинка альбита при углѣ очень маленькомъ ( $2^\circ—3^\circ$ ).

5) Наконецъ, если уголъ затемнѣнія очень малъ, то это олигоклазъ (или андезитъ) или же то сѣченіе остальныхъ плагиоклазовъ, которое близко соответствуетъ точкѣ пересѣченія всѣхъ кривыхъ.

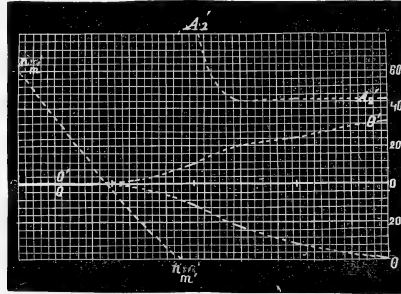
Въ этомъ случаѣ нужно пытаться привести къ оси  $n_m$ . Для альбита и олигоклаза уголъ невеликъ, и притомъ для перваго ось вращенія приблизительно параллельна двойниковому шву, а для втораго приблизительно перпендикулярна. Для лабрадора этотъ уголъ очень великъ.

Такимъ образомъ, полное опредѣленіе плагиоклаза возможно и по одному сѣченію этого пояса. Но, конечно, лучше для проверки воспользоваться другимъ сѣченіемъ того же пояса или же какимъ-либо другимъ признакомъ.

<sup>1)</sup> Пластинка лабрадора могла бы быть легко приведена къ оптически-двойниковой оси  $B_1$ ; но, какъ сказано, приведеніе къ оптически-двойниковымъ осямъ связано съ особыми трудностями.

### Сѣченія, перпендикулярныя оси $n_m$ .

§ 22. Эти сѣченія разыскиваются какъ такія, которыя отличаются высшимъ цвѣтомъ интерференціи. Въ обыкновенныхъ случаяхъ столь тонкихъ пластинокъ полевыхъ шпатовъ, что едва замѣтны слѣды желтаго цвѣта I-го порядка или даже когда цвѣта вовсе не выходятъ изъ



Фиг. 44.

неопредѣленныхъ сѣрыхъ цвѣтовъ I-го порядка, для наблюденія можно пользоваться чувствительными пластинками, но гораздо проще, удобнѣе и даже чувствительнѣе, переставлять николи въ параллельное положеніе, и тогда высшій цвѣтъ при вращеніи столика выступаетъ гораздо рельефнѣе<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Какъ извѣстно, цвѣта при параллельныхъ николяхъ дополнены тѣмъ, которые наблюдаются при перекрещенныхъ николяхъ, такъ что напр. тѣ, которые соответствуютъ цвѣтамъ „blanc pur jaunâtre“ и „jaune paille“ интенсивно темная. Это можно а priori заключить изъ диаграммы, имѣющейся въ книгѣ Michel Lévy „Les minéraux des roches“ (стр. 51).

Для демонстраціи этихъ цвѣтовъ особенно поучительно употребить слѣдующій приемъ: Въ кварцевомъ компараторѣ николи приводятся въ параллельное положеніе; притомъ ихъ главные оптическія сѣченія располагаются подъ угломъ 45° къ соответствующему сѣченію кварцеваго клина.

Наблюденіе начинается съ толстаго конца клина, и постепенно вводятся болѣе тонкія его части. При этомъ передвиженіи наблюдается постепенное пониженіе цвѣтовъ интерференціи, пока, повидимому, не доходить до цвѣтовъ I-го порядка. Но вдругъ неожиданно появляется новая серія цвѣтовъ, начиная отъ синяго чрезъ темнофіолетовый, темнобурый и сѣдлобурый и уже тогда постепенно появляются сѣрые оттѣнки и чистый бѣлый цвѣтъ.

Въ компараторѣ, которымъ я пользовался „violet sensible № 1“ появляется при дѣленіи 10,0, а при 3,55 наблюдается новый и еще болѣе чувствительный фіолетовый цвѣтъ, чѣмъ цвѣта высшаго порядка. Дѣленіямъ 2—4 съ перекрещенными николями соответствуетъ „gris plus clair“, тогда какъ при параллельныхъ николяхъ наблюдаются упомянутые яркіе цвѣта.

Вообще, соответствующіе цвѣта при параллельныхъ занимаютъ средину тѣхъ, которые появляются при перекрещенныхъ николяхъ. Такъ „violet sensibles № 1, № 2, № 3“ видны при установкѣ на дѣленія 10,0, 25,0 и 44,0, а новые чувствительныя цвѣта — при дѣленіяхъ 3,55, 17,7 и 33,6.

На этомъ основаніи я полагаю целесообразнымъ называть эти новые цвѣта-цвѣтами  $\frac{1}{2}$ ,  $1\frac{1}{2}$  и  $2\frac{1}{2}$  порядка. Для весьма тонкихъ шлифовъ особенную важность имѣютъ именно цвѣта  $\frac{1}{2}$  порядка.

Изъ приложенной діаграммы видно, что опредѣленіе плагиоклазовъ въ такихъ сѣченіяхъ весьма удобно и чувствительно по угламъ затемнѣнія, такъ какъ уголъ для членовъ ряда альбитъ-олигоклазъ почти нуль, а отсюда возрастаетъ до анортита, для котораго этотъ уголъ доходитъ до  $39^\circ$ , а если считать отъ одного двойниковаго индивидуума къ другому, то и больше  $70^\circ$ .

Для членовъ ряда анортитъ-лабрадоръ возможно привести пластинку къ оптической оси  $A_3'$ ; углы такого приведенія показаны на діаграммѣ.

Для членовъ ряда альбитъ-олигоклазъ возможно приведеніе къ оси  $n_m'$ ; углы приведенія также видны изъ діаграммы.

Опредѣленія по этому признаку имѣютъ то особое преимущество, что не требуютъ присутствія двойниковъ. Съ другой стороны онѣ обладаютъ весьма малою точностью, такъ какъ такое сѣченіе почти всегда находится лишь весьма приблизительно.

### Сѣченія одновременнаго затемнѣнія обоихъ индивидуумовъ двойника.

§ 23. Сѣченія эти показаны пунктирною линіей на отдѣльныхъ діаграммахъ плагиоклазовъ и соединены вмѣстѣ на діаграммѣ табл. VI. Для болѣе отчетливаго различенія на ней кривыя, относящіяся къ различнымъ плагиоклазамъ, показаны ралчными линіями. Цифры<sup>1)</sup>, связанныя съ этими линіями, показываютъ величины угловъ затемнѣнія (по отношенію къ двойниковому шву) въ соответствующихъ точкахъ кривыхъ. Понятно, что въ главныхъ направленіяхъ (показанныхъ условнымъ знакомъ) уголъ этотъ есть  $0^\circ$ .

Мы видимъ, что вообще эти кривыя проходятъ чрезъ всѣ наиболѣе замѣчательныя точки, а именно: всѣ безъ исключенія — чрезъ кристаллографически-двойниковую ось и всѣ, кромѣ кривой анортита, чрезъ главное направленіе. Наконецъ всѣ кривыя, кромѣ кривой олигоклаза, проходятъ чрезъ всѣ оптическія оси, и только кривая анортита проходитъ только чрезъ оси  $A_2$  и  $A_2'$ . Какъ бы то ни было, во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда оптическія оси не принадлежатъ самимъ кривымъ, онѣ (равно какъ и главное направленіе для анортита) составляютъ особыя точки этихъ кривыхъ, а именно точки отдѣльныя.

Внимательное изученіе діаграммы приводитъ насъ къ слѣдующимъ правиламъ опредѣленія плагиоклазовъ по сѣченіямъ, сюда относящимся.

При этомъ, конечно, я не буду касаться всѣхъ только-что упомянутыхъ важнѣйшихъ точекъ этихъ кривыхъ, такъ какъ сѣченія, соответствующія этимъ точкамъ, подробно разсмотрѣны выше.

<sup>1)</sup> Цифры поставлены только съ той стороны, съ которой углы затемнѣнія положительныя. Въ симметричныхъ, по отношенію къ нимъ, точкахъ углы эти, само собою разумѣется, имѣютъ ту же абсолютную величину, но отрицательный знакъ.

Поэтому, теперь слѣдуетъ упомянуть только о такихъ сѣченіяхъ, когда оба индивидуума двойника (по альбитовому закону) затемняются одновременно, и притомъ сѣченіе не представляется весьма близкимъ ни къ перпендикулярному къ оптической оси или кристаллографически-двойниковой оси, ни къ главному направлению.

Мы приходимъ къ слѣдующему:

Если уголъ затемнѣнія очень маленькій, и притомъ сѣченіе не перпендикулярно къ главному направлению, то плагиоклазъ есть альбитъ. Отчасти тоже относится и къ олигоклазу.

Но для отличія можетъ служить то обстоятельство, что соответствующія сѣченія альбита вращеніемъ около оси, параллельной двойниковому шву, приводятся къ  $n_n$ .

Если уголъ затемнѣнія не превышаетъ  $12^\circ$  и притомъ не представляетъ близости къ кристаллографически-двойниковой оси  $B$ , то мы имѣемъ олигоклазъ или альбитъ. Но олигоклазъ, вообще, можно отличить отъ альбита тѣмъ, что въ немъ замѣчается очень часто близость затемнѣнія обоихъ индивидуумовъ, а это зависитъ, въ свою очередь, отъ малости угла между оптическими осями обоихъ индивидуумовъ.

Во всѣхъ остальныхъ случаяхъ такой маленькій уголъ затемнѣнія свойственъ только сѣченіямъ, близкимъ къ перпендикулярности къ главному направлению.

Если при углѣ затемнѣнія  $12^\circ$ — $20^\circ$  мы имѣемъ близость къ перпендикулярности къ оптической оси, то плагиоклазъ есть лабрадоръ или битовинитъ. Но мы видѣли выше, что эти минералы во всякомъ случаѣ легко отличить другъ отъ друга по углу между оптическими осями обоихъ индивидуумовъ.

Углы затемнѣнія  $20^\circ$ — $40^\circ$  тоже свойственны только тѣмъ же членамъ ряда плагиоклазовъ, а апортиту только для сѣченій, близкихъ къ оси  $B$ . Въ этомъ случаѣ наименьшіе углы (до  $36^\circ$ ) свойственны именно апортиту. Для альбита эти сѣченія близки къ перпендикулярности къ оптической оси. Въ случаѣ лабрадора крайніе углы принадлежатъ сѣченіямъ, близкимъ къ оптическимъ осямъ; въ типическомъ битовинитѣ сѣченія съ затемнѣніемъ  $35^\circ$ — $40^\circ$  наиболѣе удалены отъ оптическихъ осей. Наконецъ, въ членѣ промежуточномъ при углѣ затемнѣнія въ  $34^\circ$  мы имѣемъ сѣченіе перпендикулярное къ оси  $n$ . Альбитъ въ сѣченіяхъ съ углами затемнѣнія  $35^\circ$ — $45^\circ$  легко распознается по тому обстоятельству, что наклоненіями каждый индивидуумъ легко можетъ быть приведенъ къ оптической оси, и потому эти сѣченія особенно пригодны для опредѣленія угла между оптическими осями и вмѣстѣ съ тѣмъ самого минерала.

Трудно передать всѣ случаи словами, и лучше всего при опредѣленіи непосредственно имѣть дѣло съ диаграммой.

### Сѣченія удлиненаго пояса [100].

§ 24. Эти сѣченія предложены для опредѣленій еще въ 1878 г. Michel Levy. Но, какъ справедливо замѣтилъ Max Schuster, 1) составленныя этимъ ученымъ диаграммы грѣшатъ



лабрадора можетъ служить въ этомъ случаѣ то, что сѣченія послѣдняго близки къ перпендикулярности къ главному направленію.

При опредѣленіяхъ по сѣченіямъ этого пояса не слѣдуетъ упускать изъ виду, что ему принадлежатъ обѣ лучшія спайности [по (001) и (010)], и потому слѣды спайности представляютъ параллельныя прямыя.

Если же заразъ имѣть въ виду и абсолютную величину угла затемнѣнія и угла между направленіями затемнѣнія, то, говоря теоретически, достаточно одного шлифа этого пояса для точнаго опредѣленія какъ самого плагіоклаза такъ и ориентировки шлифа. Практически, для опредѣленія, конечно, нужно воспользоваться и другими данными.

---



# Nouvelle méthode pour l'étude goniométrique et optique des cristaux appliquée à la minéralogie et à la pétrographie.

## Partie I.

### Études goniométriques.

La cristallographie s'étant revêtue d'un caractère mathématique grâce aux progrès qu'elle a faits durant ces dernières dizaines d'années, l'auteur trouve nécessaire de faire une révision systématique de sa nomenclature et de la rendre conforme à l'état actuel de la science.

L'examen critique des principes sur lesquels est basée cette nomenclature fait voir non-seulement l'état incomplet où elle se trouve, mais encore l'absence d'unité ainsi qu'une certaine surabondance de termes qui ne servent qu'à surcharger la mémoire des commençants aussi bien que de ceux dont cette science n'est pas la spécialité principale.

Après avoir examiné les principes de la nomenclature l'auteur indique les buts suivants.

1) Réunir les termes dans un système et mettre pour base le moins de principes possibles mais clairement exprimés et correspondant exactement aux notions fondamentales de notre science.

2) En faisant cela, il faut avoir en vue de changer aussi peu que possible les termes qui existent, supprimer le superflu et n'admettre de nouveaux termes qu'autant que la nature de la tâche le permet.

3) En premier lieu, il faut avoir soin d'éloigner les imperfections les plus évidentes et de remplir les lacunes les plus évidentes. Une fois la plus grande simplicité des termes obtenue, n'importe leur irrégularité grammaticale et leur cacophonie, si pour éviter ces imperfections il faut changer la forme de mots depuis longtemps et généralement adoptés. En poursuivant ces buts, l'auteur passe en revue la question des termes désignant les formes de la cristallographie et celle des modes de symétrie, des symboles rationnels et des modes de structure des cristaux.

En parlant des formes simples, il faut tout d'abord donner à cette notion une détermination géométrique exacte.

L'auteur rappelle que les polyèdres dont les faces sont égales ou symétriques s'appellent isoèdres et ceux dont les faces sont également distantes du même point central du polyèdre s'appellent typiques.

Dans la notion des formes simples de la cristallographie ces deux notions s'unissent, et leur détermination comme isoèdres typiques est nécessaire et suffisante. En les désignant il faut avoir en vue :

1) Les formes différentes (ou composées d'après différentes lois) doivent avoir une dénomination différente et les formes identiques une dénomination identique.

2) Les formes qui appartiennent à une même série naturelle, dépendante de la même loi, doivent avoir la même dénomination en y joignant la dénomination du nombre ordinal qui indique la place de la forme dans la série (quelquefois infinie).

Pour exprimer la différence des positions des formes identiques il, faut ajouter un mot déterminatif à la dénomination de la forme pour caractériser brièvement cette position.

Considérant que ces conditions indispensables ne s'observent pas dans la nomenclature actuelle, l'auteur trouve qu'il est nécessaire de déterminer d'une manière exacte les formes suivantes :

1) L'hémipinacoïde est une forme à une seule face (exemples: l'hémimorphie du système hexagonal et d'autres systèmes de même que les formes hémihédriques du système triclinique).

2) Le pinacoïde présente la réunion de deux faces parallèles (on peut y rapporter les formes holoédriques du système triclinique etc.).

3) L'hémiprisme présente la réunion de deux faces qui se croisent sous un angle (exemples: les formes qui appartiennent aux formes hémihédriques et hémimorphiques du système monoclinique).

4) Les prismes trigonaux, tétraonaux etc. sont des formes dont les faces forment une zone dont la section normale est un polyèdre régulier.

5) Les prismes didigonaux (= rhombiques) ditrigonaux, ditétraonaux etc., se distinguent de ceux qui précèdent par leur section qui est un digone<sup>1)</sup>.

6) La pyramide trigonale, tétraonale etc. est une forme limitée par des faces égales et également inclinées les unes sur les autres et qui se croisent en un même point. Une telle forme a un axe, et la section normale à cet axe est un polyèdre régulier.

7) Les pyramides didigonales (= rhombiques), ditrigonales, ditétraonales etc. se distinguent des précédentes par la section normale sur l'axe qui est un digone.

8) Les bipyramides trigonales, tétraonales etc. se composent de deux pyramides égales qui ont une base et un axe communs, mais dont les sommets sont dirigés en sens inverses.

9) Les bipyramides didigonales, ditrigonales etc. se rapportent aux pyramides de la même dénomination comme les bipyramides 8) se rapportent aux pyramides 6).

<sup>1)</sup> Le digone dérive d'un polyèdre régulier si l'on ajoute à chaque côté de son périmètre extérieur un triangle isocèle dont la base coïncide avec le côté du polyèdre.

Enfin 10) on appelle sphénoèdres<sup>1)</sup> les formes limitées par quatre triangles égaux. Pour distinguer les formes identiques dans la position qu'elles occupent par rapport aux axes cristallographiques, et conformément à la coutume de la plupart des cristallographes, l'auteur distingue les formes de première, de seconde, de troisième et de quatrième espèce.

Cette distinction s'exprime par la différence de leurs symboles, et pour rendre la chose plus claire, l'auteur donne l'exemple suivant qui se rapporte au système triclinique:

(100)	—	premier	pinacoïde
(010)	—	second	»
(001)	—	troisième	»
(0 m 1)	—	pinacoïde de	1 <sup>e</sup> espèce
(n 0 1)	—	»	» 2 <sup>de</sup> »
(n m 0)	—	»	» 3 <sup>me</sup> »
(n m 1)	—	»	» 4 <sup>me</sup> »

Une notation exacte des formes simples donne la clef pour une notation des modes de symétrie.

En effet, à chaque mode de symétrie appartient une forme générale (c. à d. une forme qui a pour symbole  $(p_0 p_1 p_2)$ , où les nombres  $p_0 p_1 p_2$  sont des nombres différents) complètement définie.

En observant ce principe, il ne sera plus nécessaire d'inventer de nouveaux termes et la dénomination même d'après la forme générale rend parfaitement évidente la nature du mode de symétrie c. à d. des lois par lesquelles on déduit d'après une donnée toutes les autres faces de la forme simple.

L'application des principes exposés par rapport aux divers modes de symétrie et à la dénomination des formes simples, peut se voir d'une manière évidente dans la table qui se trouve page 16—22, où la dénomination est donnée en russe et en français.

Examinant la question des symboles rationnels de la cristallographie, l'auteur démontre qu'il n'y a que les symboles dits de Miller qui peuvent complètement répondre à toutes les exigences.

Le seul inconvénient à l'adoption des symboles de Miller réside dans les modes de symétrie du système hexagonal, caractérisé par la présence de l'axe sénnaire de symétrie.

En effet, les symboles des faces de la même forme simple s'expriment par deux sortes de nombres, si les unes des faces s'expriment par le symbole  $(p_0 p_1 p_2)$  les autres demandent le symbole  $(-p_0 + 2p_1 + 2p_2, 2p_0 - p_1 + 2p_2, 2p_0 + 2p_1 - p_2)$ .

L'auteur a cherché à écarter cet inconvénient en introduisant devant les symboles les signes  $+ -$  et  $-$ , de sorte que si  $+ (p_0 p_1 p_2)$  est un des symboles susmentionnés un autre sera alors  $- (p_0 p_1 p_2)$ ; et le symbole  $\pm (p_0 p_1 p_2)$  se rapportera à toutes les faces de la forme simple.

<sup>1)</sup> Pour distinguer des „sphénoïdes“ c'est à dire des formes à différentes faces (employées par quelques auteurs par analogie à „hexaïde“, „octaïde“ etc.).

Pourtant, outre les symboles des plans isolés des cristaux, les minéralogistes ont toujours éprouvé le besoin d'exprimer par des symboles le groupe de toutes les faces de la forme simple. L'auteur trouve, que pour la composition correcte de pareils symboles il faut étudier les substitutions et les permutations que subissent les indices des symboles, en passant de la face d'une forme aux autres faces de la même forme.

Pour exprimer d'une manière évidente ces substitutions, on peut se servir de parenthèses, de divers signes et employer des caractères différents.

On prend tout d'abord un nombre minimum de substitutions possibles pour chaque système à part et il est admis comme indication, de mettre des numéros devant les parenthèses, savoir: pour le système digonal le nombre minimum de pareilles substitutions est 1., c'est pourquoi l'on conserve les parenthèses sans ajouter le numéro.

Pour le système tétragonal il existe 2 directions pareilles:  $(p_0 p_1 p_2)$  et  $(\bar{p}_0 \bar{p}_1 p_2)$  et l'auteur l'exprime par le symbole  $(p_0 p_1 p_2)_2$ ; le système hexagonal a 3 directions pareilles et son symbole sera  $(p_0 p_1 p_2)_3$ . Le système cubique en a 12 (ce qui correspond à la tétartoédrie) et son symbole est  $(p_0 p_1 p_2)_4$ ; ici le numéro 4 rappelle l'existence habituelle des 4 axes octaédriques disposés parallèlement aux diagonales du cube.

Outre cela, l'auteur distingue les groupes suivants de substitution:

1) Le changement simultané des signes de tous les indices du symbole. Ce changement est exprimé par des parenthèses droites. Par exemple  $[p_0 p_1 p_2]$  exprime deux faces  $(p_0 p_1 p_2)$  et  $(\bar{p}_0 \bar{p}_1 \bar{p}_2)$ .

Cette substitution exprime la présence d'un axe binaire et d'un plan de symétrie composée (centre de symétrie d'après Bravais).

2) Le changement indépendant du signe d'un des indices du symbole; l'auteur exprime ce changement par des chiffres en gros caractères. Par exemple  $(p_0 p_1 p_2)$  exprime deux faces  $(p_0 p_1 p_2)$  et  $(\bar{p}_0 p_1 p_2)$ .

Pris à part ce changement exprime le plan de symétrie perpendiculaire à l'axe cristallographique auquel se rapporte l'indice en gros caractère.

3) Les changements qui embrassent simultanément deux indices du symbole. L'auteur les exprime par des chiffres en italique.

L'auteur distingue deux sortes de pareils changements.

a) Si les indices se rapportent à des axes égaux, il faut faire une permutation.

b) Si les indices se rapportent à des axes inégaux, il faut changer en même temps les signes de tous les deux. Par exemple:

Pour le système digonal  $(p_0 p_1 p_2)$  exprime deux faces  $(p_0 p_1 p_2)$  et  $(\bar{p}_0 \bar{p}_1 p_2)$  c. à d. que l'axe cristallographique auquel se rapporte le 3-me indice est un axe binaire de symétrie.

Enfin 4) il se présente des cas où il est nécessaire de faire à la fois la permutation de deux indices et de changer le signe de l'un d'eux. Cela sera exprimé par des apostrophes placés au-dessus

des indices. Par exemple  $(p_0' p_1' p_2')_2$  exprime, en outre, deux faces  $(p_0 p_1 p_2)$  et  $(\bar{p}_1 \bar{p}_0 p_2)$  c. à d. que dans ce cas il y a un axe quaternaire de symétrie. Pour le système hexagonal il faut changer tous les trois signes; ainsi  $(p_0' p_1' p_2')_3$  exprime, en outre, les deux faces  $(p_0 p_1 p_2)$  et  $(\bar{p}_1 \bar{p}_0 \bar{p}_2)$ .

Pour le même système il est nécessaire d'ajouter l'indication de la substitution quand en changeant les signes de tous les indices il faut changer le signe devant le symbole. L'auteur exprime cette substitution par des parenthèses  $\{ \}$ . Par exemple:  $\{p_0 p_1 p_2\}$  exprime deux faces  $\rightarrow (p_0 p_1 p_2)$  et  $\rightarrow (p_0 \bar{p}_1 \bar{p}_2)$  c. à d. le plan de symétrie, perpendiculaire à l'axe vertical.

L'explication détaillée de l'emploi de tous ces symboles se trouve dans la table à la fin du chapitre I.

En passant à la nomenclature des modes de structure, l'auteur remarque, que ce n'est que la moindre partie des résultats exposés dans ce chapitre qui appartient aux anciens auteurs et qui est déjà généralement adoptée.

Avant tout il est important de déterminer si les nouvelles opinions théoriques ne se trouvent pas en désaccord avec les anciennes, si elles excluent ces dernières, ou au contraire si elles ne présentent pas leur développement ultérieur en leur servant de complément.

L'auteur n'hésite pas à donner à cette question une réponse affirmative.

Par exemple la nouvelle et la plus complète théorie des systèmes réguliers des points, présente seulement une solution plus complète du problème sur les points distribués régulièrement dans l'espace.

Ce problème a reçu pour la première fois une solution systématique dans les ouvrages de Bravais, avec cette restriction, que dans les oeuvres de ce savant, aussi bien que plus tard dans celles de Sohncke, dans la base de cette solution, la définition des systèmes réguliers des points, n'est pas générale. Mais Bravais, s'étant borné à examiner le cristal comme système régulier de molécules (dont la symétrie peut être moindre que celle du système même) a négligé la recherche de leurs sphères moléculaires.

Cependant cette idée, bien que sous une forme matérielle, a aussi été donnée par Haüy. Ce représentant le plus ancien de la doctrine de structure des cristaux, ne s'est pas borné à la notion de la molécule même; il avait en vue les sphères des molécules, qu'il se représentait comme solides, et qu'il appelait molécules intégrantes.

C'est pourquoi la théorie de l'auteur présente non-seulement le développement ultérieur de la théorie de Bravais, non-seulement le perfectionnement de la théorie de Sohncke (qui ne présente que le développement de la théorie de Bravais) mais elle remonte en arrière, s'approprie encore un élément de structure, entièrement omis par les théoriciens postérieurs de la structure des cristaux et a pour base une solution mathématique complète du problème que le célèbre Haüy n'a fait que poser. L'auteur ne considère pas la théorie de structure développée par Schoenflies comme telle, c. à d. comme théorie mathématique se rapportant aux cristaux.

Chaque théorie semblable doit renfermer trois éléments: 1) l'induction, 2) la conclusion, 3) la vérification.

On ne trouve pas dans la théorie de Schoenflies les deux derniers éléments, mais seulement l'étude mathématique du premier et la solution du problème mathématique de tous les systèmes réguliers possibles des points. Elle ne renferme ni ce que demande une vérification expérimentale, ni la vérification même. Si Schoenflies affirmait seulement que tous les 230 types déduits<sup>1)</sup> existent ou peuvent exister, il faudrait montrer au moins de quelle manière on peut s'en persuader et comment trouver ces types dans la nature.

En général, toute théorie de la structure des cristaux doit renfermer les indications et les indices qui caractérisent les modes de structure qu'elle déduit, ou au moins, elle doit nous montrer le moyen d'après lequel nous pouvons trouver ces indices.

Sans cela, elle ne présente qu'une déduction mathématique n'ayant pas de rapport immédiat avec les corps de la nature.

En tous cas, dans toutes ces différentes manières de voir sur la structure, il n'y a eu ni contradictions, ni diversités d'opinions, mais toujours le développement suivi d'une même idée; cependant ce n'est pas le côté théorique qui joue dans cette déduction le rôle principal, mais c'est la recherche purement mathématique de la déduction fondamentale de cette théorie qui a eu pour résultat la déduction de 230 systèmes de points, déduction qui a été faite par l'auteur et Schoenflies. Sa nomenclature se développait en même temps.

Les systèmes de points, déduits par Bravais reçoivent la nomination des assemblages (Raumgitter).

65 systèmes déduits par C. Jordan et Schoenflies composent déjà les simples systèmes réguliers des points, et les 165 systèmes qui complètent la déduction de tous les systèmes réguliers des points, sont les systèmes doubles.

Chaque système double est composé de deux systèmes simples analogues<sup>2)</sup> dont tous les éléments de symétrie coïncident.

On peut donner la table suivante des éléments de symétrie des systèmes réguliers:

La symétrie des systèmes réguliers.			
Symétrie directe		Symétrie inverse	
Les axes de symétrie	Les axes hélicoïdaux	Symétrie composée	Les plans de symétrie inv.
			Les plans de symétrie.
			Les plans de glissement symétriques.

<sup>1)</sup> pour la première fois cette déduction a été faite dans le travail de l'auteur „La symétrie des systèmes réguliers“.

<sup>2)</sup> C'est à dire que l'un est symétrique par rapport à l'autre.

Quant à la nomenclature des systèmes réguliers des points, nous pouvons l'exprimer par des équations algébriques. Par conséquent, nous avons ici une nomenclature idéalement parfaite.

Tous les termes qui viennent d'être revus se rapportent aux systèmes réguliers des points, dont la déduction complète sert de base à la théorie de structure des cristaux.

Passons à la théorie:

La nouvelle théorie examine non seulement la molécule cristalline comme une chose très compliquée, mais aussi la molécule chimique.

Cette théorie ne perd jamais de vue que la molécule chimique est non-seulement composée d'atomes de matière, mais qu'elle est encore entourée d'éther, dont les molécules sont dispersées dans toute l'étendue sans laisser d'espaces vides. En parlant de la disposition géométrique des molécules il est impossible de séparer la disposition des atomes, qui composent ces molécules, de la répartition des molécules d'éther vu que cette dernière dépend de la première; mais en examinant les atomes ordinaires et l'éther qui les entoure, on est forcé de dire que les molécules et leurs sphères remplissent l'espace sans laisser d'interstices.

La molécule cristalline remplit l'espace dans une position parallèle; cela dérive de la caractéristique même de la matière cristalline — de manifester des qualités égales dans les directions parallèles.

Et par conséquent la partie de l'espace qu'elle embrasse est un paralléloèdre. La molécule peut renfermer la symétrie complète de tout le système. En ce cas, la partie de l'espace qu'elle occupe est un simple paralléloèdre convexe, et le système s'appelle *simmorphique*.

Elle peut encore se composer de molécules soustractives, de deux sortes; dont les unes sont symétriques par rapport aux autres<sup>1)</sup>. En ce cas un simple paralléloèdre convexe appartient à des molécules soustractives et la molécule cristalline correspondra au paralléloèdre composé; un tel système s'appelle *hémisimmorphique*.

Enfin, au point de vue de mathématique pure il existe de tels systèmes de molécules, dont la symétrie n'est pas égale à la symétrie des molécules mêmes, de sorte que ces molécules occupent dans le système des positions différemment orientées. Mais de pareilles molécules soustractives n'auront plus dans l'espace des parties déterminées correspondantes et même il faudrait leur attribuer des parties de l'espace séparées les unes des autres, comme paralléloèdres leur appartenants.

Pour de pareils systèmes la notion des sphères moléculaires n'a plus de sens et, par conséquent, n'ayant plus de signification réelle, ces systèmes ne peuvent plus appartenir aux solides cristallins. De pareils systèmes s'appellent *s. assimorphiques*.

<sup>1)</sup> Sohcncke trouve peu probable la présence simultanée des molécules de deux espèces, symétriques les unes par rapport aux autres. Il ne faut pas oublier, que dans le cristal et dans tous les corps en généraux, une fois que nous examinons les phénomènes qui se produisent dans la molécule cristalline, nous avons le système dynamique et il ne paraît pas impossible de pouvoir admettre que si un système d'atomes quelconque donne un équilibre dynamique stable, que ce même équilibre puisse être donné par le système d'atomes qui lui est symétriquement disposé. Le dynamisme des phénomènes amène à ce que dans certaines limites restreintes les atomes se reconstruisent continuellement en quittant l'équilibre stable pour un autre qui lui est symétrique. Le type général de structure cristalline se conserve pendant ce déplacement.

Discutant sur les systèmes simmorphiques, l'auteur remarque qu'il lui est incompréhensible, au point de vue physique, comment les molécules soustractives pourraient se disposer les unes à côté des autres et s'orienter d'après une certaine loi, d'autant plus que l'expérience générale certifie la tendance des molécules cristallines à se disposer dans une position parallèle.

Les individus différemment orientés (des cristaux pseudosymétriques) provenus par suite de transformation d'une modification polymorphique dans une autre présente un phénomène de toute autre nature.

La raison de ce phénomène en est claire et l'explication aussi bien que celle du fait de la transformation polymorphique sont insérées par l'auteur dans le «Premier essai de déterminer la position des molécules de certains minéraux».

Pour conclure l'auteur dit quelques mots sur les indices les plus essentiels pour la distinction des structures. Comme tel, nous avons le type du paralléloèdre d'après lequel est construite la molécule cristalline. Ce type est complètement déterminé une fois que nous connaissons toutes les directions d'accroissement du cristal. Laisant de côté les autres indices l'auteur se borne à proposer de nommer la structure:

d'appeller structure octaédrique	celle qui correspond au heptaparalléloèdre
» » dodécaédrique	» » hexaparalléloèdre
» » prismatique	» » tétraparalléloèdre
» » hexaédrique	» » triparalléloèdre.

De cette manière les formes de structure de la boracite, de la pérowskite et de l'amphigène examinées en détails par l'auteur, sont toutes trois octaédriques et encore hémisimmorphiques.

Dans le second chapitre l'auteur expose les principes de la nouvelle méthode des recherches cristallographiques; il décrit le goniomètre universel, la manière de faire les observations à l'aide de cet instrument et le moyen de le vérifier.

Les pôles des faces des cristaux sont disposés sur la sphère comme les étoiles de la sphère céleste ou les points géographiques de la sphère terrestre. Pour la détermination d'un pareil pôle deux coordonnées sont nécessaires et suffisantes: 1) la latitude et 2) la longitude du pôle. D'après la nouvelle méthode, la mesure du cristal se réduit à la détermination des grandeurs numériques de ces coordonnées.

De cette manière nous arrivons, non-seulement aux calculs les plus simples, mais encore au procédé le plus rapide et le moins compliqué pour mesurer.

En effet, le travail pour mesurer les angles du cristal, consiste actuellement:

a) à fixer le cristal dans une position telle que l'arête de l'intersection des deux plans du cristal, entre lesquels se trouve l'angle à mesurer, soit à peu près parallèle à l'axe du goniomètre et même qu'elle coïncide avec cet axe.

b) La mise au point c. à d. l'acte de placer cette arête exactement parallèle à l'axe de l'instrument; dans les goniomètres à une lunette on y ajoute le centrage, et enfin,



c) la lecture sur le limbe.

D'après la nouvelle méthode des mesures cristallographiques, les deux premières opérations s'annulent, et il ne reste que la lecture sur le limbe.

Ce n'est que pour l'hémisphère du cristal qu'il faudra faire la mise au point du cristal sur une zone; cela est utile, mais non indispensable, pour rendre les calculs moins compliqués.

### Description du goniomètre universel.

Cet instrument est construit d'après le type du théodolite et se compose (Fig. 3<sup>1)</sup>: *A*) Du pied sur lequel au moyen d'un support massif est fixé une lunette horizontale *B*), décrite plus loin.

Cette lunette se met en mouvement progressif vers son axe au moyen de la crémaillère *H*: le charriot *K*<sup>2)</sup> sert à produire ce mouvement.

Ce mouvement doit rapprocher la lunette vers le cristal qu'on examine jusqu'au point de le voir distinctement. *C*) Du Limbe horizontal. Autour de l'axe vertical, passant par le centre de ce limbe tournent toutes les parties de l'instrument ainsi que deux verniers observés à l'aide de loupes.

La partie qui tourne autour de l'axe vertical se compose du support *D*, qui porte l'axe horizontal, du limbe vertical *E* (à l'extérieur) et du cercle à vernier *F* (à l'intérieur) qui y sont fixés. Le support de Fuess est vissé de l'autre côté de l'axe. Toute cette partie du goniomètre qui a le mouvement de rotation autour de l'axe vertical, s'appelle partie mobile de l'appareil.

Enfin *G* est le contre-poids.

La partie principale de l'appareil est la lunette. Quand la lentille *a* mobile est soulevée cette lunette sert à la fois comme collimateur et comme lunette d'approche (Fig. 5, p. 28).

Le signal *b*, (représenté à part sur la fig. 4) se réfléchit dans un verre très mince *c*, posé sous l'angle de 45° par rapport à l'axe de la lunette; le faisceau lumineux émergeant du signal traverse l'objectif et devient un faisceau parallèle. Il est réfléchi par la face du cristal posée perpendiculairement à l'axe optique de la lunette, traverse de nouveau l'objectif *d*, et donne l'image réelle au foyer principal *e*, où se trouve le réticule. On observe cette image du signal par l'oculaire de Ramsden *f*.

Pour observer le cristal, la lentille mobile *a* s'abaisse et, jointe à l'objectif, forme un système optique plus fort et transforme la lunette en un faible microscope.

Le limbe vertical est construit de manière à obtenir la répétition, et à une disposition la plus aisée du zéro. Le mouvement rapide du cercle intérieur avec les verniers se produit à l'aide de la virole  $\alpha$ ; la virole  $\beta$  sert à joindre ce cercle au limbe. Les vis à pression  $\gamma$  et  $\delta$  fixent la position

<sup>1)</sup> La figure 3 est insérée au commencement du livre.

<sup>2)</sup> Le charriot est muni d'un repère qui montre la position dans laquelle doit être placée la lunette pendant qu'on fait l'observation. Autrement grâce à l'imperfection du mouvement parallèle de la lunette, une erreur pourrait être commise.

du limbe et du cercle aux verniers; il est évident que lorsqu'il faut faire tourner l'un ou l'autre cercle séparément, on desserre ces vis, et lorsqu'on veut faire tourner les deux cercles ensemble, ayant desserré les deux vis, on tourne la virole  $\beta$  jusqu'à la pression. Dans tous les autres cas il faut desserrer cette virole.

Les vis  $\varepsilon$  et  $\theta$  servent aux mouvements micrométriques de ces cercles.

Le limbe horizontal n'est pas adapté à la répétition. Son mouvement rapide se produit simplement par la pression des doigts sur le contre-poids  $G$ , dans ce but on desserre la vis à pression  $\alpha$ . Le mouvement micrométrique se produit à l'aide d'une vis à rappel  $b$ .

Passons à l'examen des procédés d'observations qu'on a à faire, et à leur inscription. Le cristal qu'on mesure s'applique comme à l'ordinaire sur le support de Fuess et la lanterne magique se pose devant l'ouverture du côté de la lunette, qui contient le signal.

Le signal est vivement éclairé et nous pouvons observer, à travers l'oculaire, la réflexion des plus petites faces suffisamment brillantes.

Pour que la lumière de la lanterne ne tombe pas sur l'œil et pour qu'elle n'éclaire pas la chambre d'une manière nuisible, on allonge un tube en toile noire depuis l'extrémité du tuyau jusqu'à l'ouverture de la lunette (et dans ce but on met sur l'ouverture un petit cône noir). Pour s'assurer que la lumière de la lanterne magique est régulièrement dirigée, c. à. d. de manière que le signal soit brillamment éclairé, il faut mettre auprès de l'objectif une lame en verre poli. Pendant ce temps la lentille mobile doit, évidemment être soulevée.

L'image du signal, réfléchi par la lame, nous donne une idée précise de la régularité de l'illumination. En cas de nécessité, on tourne et on déplace la lanterne, jusqu'à ce qu'on obtient une réflexion plus lumineuse.

On amène la partie mobile du goniomètre, à peu près, dans une position telle, que l'axe horizontal (l'axe mobile) soit perpendiculaire à l'axe de la lunette. Cette position de la partie mobile correspond à  $90^\circ$  du limbe horizontal.

Ensuite on se place à quelque distance de l'autre côté de l'instrument et on met l'œil à peu près, sur le prolongement de l'axe de la lunette. Alors, en regardant à travers l'objectif, on voit l'image lumineuse du signal, et une partie de l'image doit être obscurcie par le cristal appliqué.

Le cristal est posé régulièrement si son milieu couvre le centre du signal.

Quand le cristal est posé de cette manière, on peut être sûr, que chaque face posée perpendiculairement à l'axe de la lunette donne des rayons parallèles réfléchis dans l'intérieur de la lunette.

Dans le cas contraire la position du cristal sur le support doit être corrigée au moyen des vis à centrage.

Maintenant il faut faire l'examen complet du cristal, afin de ne pas omettre une seule face, qui puisse donner une réflexion quelconque, si faible qu'elle soit.

Dans ce but on met le vernier du limbe au zéro, on déplace le contre-poids  $G$ , et on fait décrire à la partie mobile un arc de plus de  $180^\circ$ , autour de l'axe vertical, en conservant un mouve-

ment régulier, pour ne pas laisser passer la réflexion. Il est possible de laisser passer les réflexions si les faces ne sont pas très brillantes et si le mouvement se produit rapidement. Ensuite, on tourne le cercle avec les verniers d'un certain angle pour répéter la rotation autour de l'axe vertical.

On répète sans cesse le même procédé jusqu'à ce que le cercle vertical soit peu à peu, tourné de sa position primitive de  $180^\circ$ .

L'angle, dont on le tourne chaque fois dépend de la grandeur du champ de la lunette  $B$ .

Cet angle dans le cas du goniomètre dont l'auteur fait usage, correspond à la rotation de  $2\frac{1}{2}^\circ$ ; et par conséquent, chaque fois qu'il tourne le cercle vertical avec le vernier de cet angle, il sera impossible (en y faisant attention) de laisser passer la réflexion, parce qu'au moins le bout de l'image, en forme de croix du signal, plus ou moins éclairé, passera par le champ.

On peut employer avec grand succès le procédé suivant. De côté, à la hauteur de l'axe mobile, on approche la flamme d'une bougie; on place un oeil devant l'oculaire et on regarde de l'autre le cristal qu'on soumet à un mouvement de rotation autour des axes vertical et horizontal, jusqu'à ce qu'on ne voie plus la réflexion de la flamme sur la face voulue.

Alors, après avoir éloigné la bougie, il ne restera qu'à tourner la partie mobile du goniomètre et l'image cherchée passera par le champ de la lunette. Si elle ne passe pas dès la première fois, elle passera après un ou deux petits mouvements dans la direction précise de l'axe mobile. Dans le cas, où le cristal est fixé suivant l'axe de symétrie, c. à d. s'il est disposé parallèlement à l'axe mobile horizontal, l'examen complet se produira plus rapidement, puisqu'alors il ne faut opérer la rotation que d'une partie de l'angle, au lieu de le faire de l'angle complet de  $180^\circ$ .

Chaque fois qu'une partie de l'image du signal, aussi petite qu'elle soit, passe par le champ au moyen d'un mouvement rapide, nous pouvons amener le centre du signal dans la position rapprochée du centre du réticule; dans cette position nous fixons les vis  $\delta$  et  $a$ , et à l'aide des vis  $\theta$  et  $b$  nous amenons la coïncidence exacte entre le centre de l'image et le centre de la croix.

Maintenant, il ne reste qu'à faire la lecture d'après les deux limbes.

Faisant cela, l'auteur prend comme règle de lire en premier lieu sur le limbe horizontal (lecture qui se rapporte à la rotation autour de l'axe vertical immobile), et en second lieu sur le limbe vertical, en séparant ces deux nombres par un point-virgule.

Il est évident qu'il faut toujours lire à l'aide du même vernier<sup>1)</sup>.

En cas où l'excentricité n'est pas négligeable, il faut mettre le nombre du second vernier entre parenthèses, par exemple:  $98^\circ 54' 30''$  ( $278^\circ 53' 50''$ ).

L'observation  $46^\circ 32' 10''$ ;  $98^\circ 54' 30''$  montre que la rotation autour de l'axe vertical est de  $46^\circ 32' 10''$ , et autour de l'axe horizontal mobile de  $98^\circ 54' 30''$ .

En faisant les calculs, nous emploierons pour hémisphère la grandeur des angles dans les limites  $-90^\circ$ ,  $0$ ,  $+90^\circ$ ; pourtant, afin de ne pas confondre les angles  $+$  et  $-$ , dans le goniomètre les limbes sont divisés en  $360^\circ$ .

<sup>1)</sup> Pour cette raison, les verniers sont numérotés.

Si l'on considère que les nombres sur les limbes augmentent dans la direction du mouvement des aiguilles d'une montre et que pour l'énumération il faut prendre les nombres qui montrent quelles rotations doivent s'être produites pour amener l'instrument de la position qu'il occupe pendant l'observation à sa position primitive, nous trouvons les règles suivantes:

a) les nombres observés doivent être remplacés par leurs compléments (jusqu'à  $180^\circ$  ou jusqu'à  $360^\circ$ ) ou pris avec le signe contraire et

b) si la longitude cristallographique est comprise dans les limites de  $90^\circ$ — $180^\circ$ — $270^\circ$ , il faut changer en invers le signe qui se rapporte à la latitude cristallographique.

Dans les tables du chapitre V sont donnés de nombreux et divers exemples d'observations brutes.

Dans le goniomètre dont l'auteur fait usage, le limbe est divisé de 10 en 10' (chaque degré en 6 parties égales) et dans le vernier les 59 divisions du limbe sont divisées en 60 parties, de sorte qu'une division du vernier correspond à 10''.

La mise au point suivant un axe de symétrie et les faces qui ne se trouvent pas dans sa zone (suivant la zone oblique) a une importance particulière.

On en distingue: a) le cas d'un axe binaire de symétrie et b) le cas d'un axe de symétrie de l'ordre supérieur à deux.

Dans le premier cas (fig. 6) on dispose de deux réflexions correspondant aux faces *A* et *B* et on les met au point de manière à ce que leurs centres passent par le centre du réticule. En même temps, dans le cas général, l'axe de l'instrument ne coïncide pas avec l'axe de symétrie *D*, mais aura une certaine position *C*.

Ayant remarqué sur le limbe la grandeur de l'angle de la coïncidence des réflexions et la partie du limbe qui correspond à l'angle *ACB* plus petit que  $180^\circ$ , on saura dans quelle direction il faut tourner la partie mobile autour de l'axe vertical pour donner à l'axe mobile la position parallèle à l'axe de symétrie.

Plus loin, l'auteur examine le cas de l'axe de symétrie d'ordre supérieur à 2.

De même on peut observer à l'aide du signal extérieur. Cela devient nécessaire pour les faces moins parfaites. Pour observer de cette manière l'auteur se sert du procédé suivant:

On applique à plat une lame polie et dans une position parallèle à la lame du support; ayant mis, d'abord, le vernier du limbe horizontal à zéro, on donne à la lame une position perpendiculaire à l'axe de la lunette. Cela se produit à l'aide des vis de centrage. Ensuite on tourne la partie mobile autour de l'axe vertical d'un certain angle (p. ex.  $20^\circ$ ), on place à distance le signal vivement éclairé, exactement dans une position telle que son image réfléchi coïncide avec le centre du réticule.

Lorsqu'on fait l'examen complet et que l'on emploie la flamme en guise de signal, il est indispensable de tourner chaque fois le limbe d'un certain angle qui ne dépasse pas par sa dimension le champ de la lunette. Mais, on peut gagner du temps, en plaçant auprès du signal une surface vivement éclairée, ou en mettant non loin du signal de la flamme, une autre flamme, qu'on puisse éloigner pendant la mesure, en cas de doutes.

Toutes les autres manières d'observer ne diffèrent pas de celles ci-dessus mentionnées. Cependant dans tous les calculs suivants, pour obtenir les nombres que nous aurions obtenus, en employant le signal intérieur, il faut soustraire  $20^\circ$  des nombres lus sur le limbe horizontal.

Dans l'appareil, dont l'auteur s'est servi, le centrage est rendu plus facile. Mais ce procédé est inutile si le signal se trouve à une grande distance, ce qui peut être obtenu à l'aide des miroirs.

Avant de se servir de l'appareil, il faut le vérifier. Il est nécessaire:

a) que le réticule de même que le signal, se trouve au foyer principal de l'objectif; en même temps, il faut que les directions des rayons provenant du centre du signal et du réticule, coïncident.

b) que l'axe optique de la lunette soit perpendiculaire à l'axe vertical du goniomètre (à l'axe mobile).

c) que l'axe horizontal (mobile) soit aussi perpendiculaire au même axe;

Enfin d) il faut vérifier les divisions et l'excentricité des deux limbes et trouver le nombre du limbe horizontal pour lequel l'axe mobile du goniomètre obtient une position exactement parallèle à l'axe optique de la lunette.

Pour vérifier si la position du signal est régulière, on place devant la lunette un miroir, d'abord tout près, ensuite à la plus grande distance possible.

L'image du signal éclairé doit être vue avec la même précision. De plus il faut que la coïncidence de l'image et celle du réticule se produise sur le même plan, c'est pour cela qu'on ne remarque pas le mouvement relatif des deux objets.

Pour s'assurer que les faisceaux lumineux, émergeant des centres du signal et du réticule coïncident, il faut éclairer non-seulement le signal, mais aussi le réticule, en mettant devant l'oculaire la flamme d'une lampe ou d'une bougie. La coïncidence ou la non-coïncidence se voit directement en examinant à travers l'objectif.

La superposition peut être produite à l'aide des vis, disposées en forme de croix et supportant le signal.

La vérification b) se fait de la manière suivante:

Ayant fixé la lame de verre perpendiculairement à la lame du support, on donne à cette lame une position perpendiculaire à l'axe optique de la lunette. Ensuite on tourne la partie mobile du goniomètre. S'il ne se trouve pas sur le plan horizontal, en faisant faire à la lame un tour de  $180^\circ$ , le centre de l'image du signal ne passera pas par le centre du réticule, mais il passera plus haut ou plus bas. Une moitié de l'erreur se corrige à l'aide des vis particulières, sur lesquels est posé le charriot *K*, et l'autre moitié de l'erreur se corrige à l'aide des vis du support. Pour la vérification c) la même lame se fixe à plat sur le support, et l'axe mobile de l'appareil est amené à une position parallèle à l'axe de la lunette.

Alors, durant la rotation de l'axe mobile, l'image du signal ne se déplace pas. En cas d'erreur, une moitié de cette erreur se corrige à l'aide des vis de rappel, et l'autre moitié à l'aide des vis du support.

Ce qui est caractéristique pour le goniomètre universel, c'est la détermination du nombre du limbe horizontal, quand la partie mobile de l'appareil occupe une position telle, que l'axe horizontal du goniomètre est parallèle à l'axe de la lunette. Cette opération se produit en même temps que celle qui vient d'être décrite, parce que le fait même que durant la rotation autour de l'axe horizontal, le centre du signal ne se déplace pas du centre du réticule, sert pour la démonstration du parallélisme de cet axe avec l'axe de la lunette; c'est pourquoi il ne faut dans cette position que lire sur le limbe. Nous pouvons constamment ajouter ou soustraire le nombre de cette lecture aux nombres du limbe horizontal, ou ce qui vaut mieux, le corriger à l'aide des vis de rappel.

Enfin, les résultats de la vérification du limbe horizontal et vertical sont indiqués sur les tables pages 38 et 39.

La première colonne de ces tables contient les lectures sur le limbe; la seconde colonne montre combien de divisions correspondent à une observation; la troisième montre le nombre correspondant du vernier; la quatrième contient les lectures du second vernier; la cinquième colonne donne l'excentricité.

Dans le III-ème chapitre, l'auteur expose la méthode la plus simple des solutions graphiques des problèmes. Cette méthode<sup>1)</sup> est basée sur la réunion de quatre formes de projections sur le même plan. Il examine dans ce même chapitre diverses questions et divers problèmes ayant rapport aux solutions graphiques.

En premier lieu l'auteur décrit la règle de M. Woulf (Fig. 9) dont on fait usage en traçant les arcs de cercle à grand rayon, et il donne la solution du problème suivant: tracer l'arc de cercle passant par trois points donnés, dans le cas où leurs distances réciproques ne permettent pas l'application immédiate de la règle. Plus loin l'auteur décrit la solution simple de plusieurs problèmes se rapportant aux arcs à grand rayon, lorsqu'on ne dispose pas de la règle.

Cela fait, l'auteur passe à son problème principal.

La plus grande simplicité des solutions peut être obtenue en réunissant toutes les formes des projections dans le même plan; alors on peut profiter des avantages de chaque projection, suivant l'espèce du problème.

Les projections stéréographiques présentent ce grand avantage qu'elles permettent de déterminer facilement les angles entre les images géométriques qui sont représentées sur ces projections.

Les projections de celles qui sont exprimées par des arcs de cercle, donnent immédiatement les grandeurs des angles, et les angles des projections de celles qui s'expriment par des points peuvent être déduits à l'aide d'une construction fort simple. L'inconvénient de ces projections consiste dans l'impossibilité de voir immédiatement quels symboles appartiennent aux faces et aux arêtes représentées.

<sup>1)</sup> Elle fut publiée par l'auteur en 1887 (4-me étude de la cristallographie analytique).

Les projections linéaires et gnomoniques permettent, au contraire, de déterminer immédiatement les symboles des faces etc. qu'elles représentent, ou de trouver ces symboles à l'aide d'une fort simple construction. Mais en général elles ne donnent pas immédiatement les angles entre les images et quelquefois il est fort difficile de déterminer les angles, en ne faisant usage que de ces projections. La projection gnomonique a le même avantage pour représenter les faces que la projection linéaire pour représenter les arêtes.

L'auteur distingue deux formes dans la projection stéréographique:

a) la projection gnomostéréographique qu'on emploie ordinairement pour représenter le faisceau de faces; les faces y sont représentées par des points (des pôles), et b) la projection grammastéréographique où les arêtes, et en général les lignes droites, sont représentées par des points; cette projection s'employait p. ex. pour représenter les axes d'élasticité optique etc.

La première forme de cette projection se rapporte à la seconde comme la projection gnomonique se rapporte à la projection linéaire.

Comme les centres des arcs de cercle d'une projection ordinaire gnomostéréographique représentent la projection linéaire des arêtes correspondantes (ou des axes des zones), ainsi les centres des cercles de la projection grammastéréographique représentent une projection gnomonique des faces correspondantes.

De cette manière une projection ordinaire gnomostéréographique est tout particulièrement unie à la projection linéaire, et la projection grammastéréographique — à la projection gnomonique.

On sait que les coordonnées des arêtes sont proportionnelles aux coordonnées des points de ces arêtes; en d'autres termes, les arêtes représentent les diagonales du parallépipède, dont les côtés sont des axes cristallographiques égaux, par leur grandeur, aux coordonnées données.

Mais le lien entre les coordonnées et les symboles des arêtes est simple: on obtient les symboles en prenant pour les coordonnées comme unité de mesure les grandeurs des paramètres fondamentaux suivant les axes correspondantes.

De cette manière, si les trois axes cristallographiques sont donnés, la question de la construction peut être ramenée à la construction de la diagonale du parallépipède dont les côtés sont proportionnels à ces symboles.

Si l'on désigne les longueurs numériques interceptées sur les axes par  $(c_0, c_1, c_2)$ , — pour construire l'arête  $[r_0, r_1, r_2]$ , il faut prendre sur les axes les longueurs  $c_0, r_0, c_1, r_1, c_2, r_2$  et construire le parallépipède (Fig. 19): la diagonale de ce parallépipède sera l'arête  $[r_0, r_1, r_2]$ .

Si nous prenons un des plans parallèles aux deux axes par ex.:  $x_1$  et  $x_2$  comme plan de la projection linéaire, de manière à ce que ce plan parallèle soit distant dans la direction de l'axe  $x_0$  d'une longueur égale à  $c_0$  et si nous prenons le symbole sous la forme  $(1r_1' r_2')$  — le premier terme du rapport  $c_0 : c_1 r_1' : c_2 r_2'$  sera constant, et par conséquent la construction de l'arête se réduit à la construction de la diagonale du parallélogramme. Par ex., si nous avons dans la projection linéaire des points correspondants aux arêtes  $[001]$ ,  $[101]$  et  $[011]$ , pour trouver le point correspondant à l'arête  $[324]$ , nous remplaçons ce symbole par le symbole  $[\frac{3}{4} \frac{1}{2} 1]$ , et prenant sur les axes les longueurs correspondantes, nous construisons le parallélogramme; l'arête cherchée

(fig. 20) sera exprimée par le sommet du parallélogramme qui est opposé au sommet  $[001]$ . Nous trouvons une analogie complète dans l'expression des symboles des faces dans la projection gnomonique.

Seulement, dans ce cas au lieu des axes cristallographiques il faut prendre les normales aux plans de ces axes, et au lieu du plan de la projection gnomonique un plan parallèle à deux de ces normales, ou — ce qui est la même chose — un plan perpendiculaire à l'arête d'intersection des plans correspondants (l'arête sera celle de l'axe cristallographique).

De cette manière, si  $(001)$ ,  $(101)$  et  $(011)$  de la figure qui vient d'être examinée expriment les normales aux faces correspondantes, mais non les arêtes, et si le plan de la projection est perpendiculaire à l'axe  $[001]$  — la construction qui vient d'être décrite, ne donnera pas la projection linéaire de l'arête  $[324]$ , mais la projection gnomonique de la face qui a le même symbole.

Si une projection est construite, il est facile de passer aux autres.

Si le point  $A$  (fig. 21) est la projection linéaire d'une certaine arête, pour trouver la projection gnomonique de la même image, nous traçons deux tangentes au cercle imaginaire de l'homographie (il sera en même temps le cercle de la projection stéréographique), nous traçons d'abord une droite par les points de contact  $a$  et  $b$  et ensuite une parallèle  $a'b'$  à la même distance du centre, mais du côté opposé.

La ligne droite  $a'b'$  sera la projection cherchée de la même arête. Nous faisons exactement la même chose dans le cas où  $A$  est la projection gnomonique d'une face et quand il faut trouver la projection linéaire de la même face.

Si le point se trouvait sur la circonférence du cercle même son polaire serait la tangente du point opposé (fig. 22).

Enfin, si le point  $A$  se trouve à l'intérieur du cercle (fig. 23), nous désignons d'abord le point  $A'$  qui lui est opposé, nous faisons passer par ce point une corde arbitraire, et des extrémités de cette corde nous traçons deux tangentes au cercle jusqu'à leur intersection au point  $D$ ; la perpendiculaire élevée au point  $D$  sur la droite  $AA'$  est la polaire cherchée.

La construction inverse des pôles d'après les polaires donnée sera facile en se basant sur ce qui vient d'être dit.

Traçons deux lignes droites perpendiculaires l'une à l'autre et de leur point d'intersection comme centre, traçons un cercle avec un rayon quelconque (dans les tableaux I—III le cercle a pour rayon 1 dem.). Aux points d'intersection des parties positives des lignes tracées avec le cercle correspondent les symboles projectifs  $(101)$  et  $(011)$ . Ensuite, d'après les équations de l'homographie (projectivité) nous trouvons les symboles correspondants aux faces  $(001)$ ,  $(011)$  et  $(101)$ . Les lignes droites, qui passent par les points  $(001)$   $(011)$  et par les points  $(001)$  et  $(101)$ , seront les axes de la projection gnomonique, au moyen desquels, suivant les règles ci-dessus mentionnées, il est facile de trouver la projection gnomonique de la face avec un symbole quelconque. Pour rendre la chose plus claire l'auteur construit un parallélogramme avec les points  $(001)$ ,  $(011)$  et  $(101)$  et le quatrième point du parallélogramme trouvé expri-



mera la face (111). La projection grammastéréographique du point (001) peut être facilement obtenue si l'on fixe la pointe du compas sur ce point et si l'on trace un arc correspondant; la même projection des points (010) et (100) sera représentée par les diamètres perpendiculaires à l'axe de la projection gnomonique. Les axes de la projection gnomonique représentent les arêtes (les axes des zones) [100] et [010]. Construisant sur eux comme sur les polaires, les pôles correspondants, (en prenant le cercle tracé pour le cercle imaginaire de l'homographie), nous trouverons les projections linéaires des mêmes arêtes, et, cela fait, nous passerons facilement à leur projection gnomostéréographique; l'arête [001] (l'axe vertical) occupera le centre du cercle, et par conséquent, la circonférence de ce cercle sera la projection gnomostéréographique de la même arête.

De cette manière, nous obtenons sur le plan toutes les données pour les solutions graphiques des différents problèmes, qui se rapportent au cristal donné.

Pour la construction de la projection d'une arête  $[r_1, r_2, 1]$  nous chercherons le point d'intersection de cette arête avec les deux axes de la projection c. à d. avec les arêtes [100] et [010] et nous trouverons  $[0, -\frac{1}{r_2}, 1]$  et  $[-\frac{1}{r_1}, 0, 1]$ . Ayant tracé une ligne droite passant par les points qui expriment ces faces, nous aurons la projection cherchée de l'arête.

En ce qui concerne le système hexagonal, la construction de la projection se fait d'une toute autre manière.

L'auteur prend pour ce système, comme plan de la projection, le plan perpendiculaire à l'axe vertical (le pinacoïde); mais cet axe (aussi bien que le plan même de la projection) a le symbole [111].

D'abord l'auteur construit la projection, en supposant qu'il a affaire au système cubique (fig. 25):

Il trace un cercle, y inscrit un hexagone régulier, construit un carré et l'inscrit de manière à ce que deux de ses côtés soient parallèles à deux côtés de l'hexagone. Des deux sommets voisins de ce carré, l'auteur mène deux lignes droites tangentes au cercle; le point de leur intersection sera une des projections des axes cristallographiques de ce système. Avec l'un de ces points, on peut facilement trouver les deux autres projections des mêmes axes, qui formeront les sommets d'un triangle régulier; les côtés de ce triangle exprimeront dans la projection linéaire le plan du cube et dans la projection gnomonique les arêtes du même cube ou les axes principaux.

Sachant le coefficient de l'extension suivant l'axe trigonal (cette quantité s'obtient en même temps qu'on fait le calcul des coefficients des équations de l'homographie) pour le cristal donné, nous passons à la construction de la projection linéaire et gnomonique du cristal donné. Cette construction est si simple qu'il est à peine nécessaire de la décrire; ou bien comme pour d'autres systèmes, la projection des axes peut être obtenue à l'aide de l'équation de l'homographie.

La construction de la projection d'après les symboles donnés pour ce système (de même que pour le système cubique, si nous prenons le plan (111) comme plan de projection) se fait

au moyen des parallélépipèdes, mais non au moyen des parallélogrammes. Pour la construction des points de la projection gnomonique, dans le cas du système hexagonal, il faut prendre pour unité, la distance du centre jusqu'aux projections gnomoniques des plans (100), (010), (001) et comme unité pour la construction des points de la projection linéaire du même système, il faut prendre la distance du centre jusqu'aux projections linéaires des arêtes [100], [010], et [001].

Ainsi, s'il faut construire la projection de l'image  $(p_0, p_1, p_2)$ , nous prenons sur les axes correspondants les longueurs

$$\frac{p_0}{p_0 + p_1 + p_2} \quad \frac{p_1}{p_0 + p_1 + p_2} \quad \frac{p_2}{p_0 + p_1 + p_2}$$

et nous construisons un parallélépipède en projection; le sommet de ce parallélépipède opposé au centre exprimera la projection cherchée (la projection gnomonique de la face ou la projection linéaire de l'arête).

Dans le cas où  $p_0 + p_1 + p_2 = 0$ , les points qui expriment les projections se trouvent à l'infini; dans ce cas les symboles projectifs coïncident avec les symboles ordinaires et ils expriment les prismes ou les arêtes qui sont parallèles au pinacoïde (111).

Pour rendre la chose plus claire, l'auteur donne l'exemple de la construction des projections d'après les symboles [421] et [211] (fig. 26).

Inversement, pour trouver le symbole correspondant au point  $D'$  (fig. 26), nous posons  $D'E = OA = 1$ . Cette longueur est égale à la somme des trois arêtes différentes du parallélépipède.

Nous posons la longueur  $EF = OB'$ ; du point  $E$ , dans la direction opposée, nous divisons  $FG$  en trois parties égales; le point de division le plus proche sera en même temps le sommet du parallélépipède dans la projection; d'après ces données, il ne sera pas difficile de tracer le parallélépipède et, par conséquent, de déterminer le symbole, dont les indices sont proportionnels aux arêtes du parallélépipède.

Enfin l'auteur donne la solution du problème de la transformation des plans des projections stéréographiques et la solution simple de plusieurs autres problèmes qui se présentent souvent pendant les recherches optiques des cristaux.

Dans le quatrième chapitre, l'auteur traite des calculs en rapport avec la méthode d'observation nouvellement introduite. Les calculs sont basés sur le même système qui fut proposé par l'auteur en 1877, système qui permet d'appliquer dans tous les cas, les formules les plus simples du système cubique.

Cependant, pour obtenir cette simplification dans les calculs il faut déduire pour chaque cristal « les équations de la projectivité ». Ces équations donnent le moyen de calculer d'après les indices donnés du symbole, les indices du symbole projectif, et ces derniers sont introduits dans les calculs du nouveau système et mènent à la simplification mentionnée.

Pour distinguer les symboles projectifs des symboles simples l'auteur les détermine par des signes. Pour différents systèmes et sous-systèmes cristallographiques, l'équation de la projectivité a une forme différente. L'essentiel est le nombre des paramètres des équations:

Dans le cas du système triclinique le nombre est 5					
»	»	»	»	»	monoclinique » » 3
»	»	»	»	»	rhombique » » 2
»	»	»	»	»	hexagonal et tétragonal 1.

Pour le système cubique, les symboles projectifs sont identiques avec les symboles simples. Dans le nouveau système des calculs, ces paramètres se présentent comme «éléments» ou comme «les constantes géométriques» du cristal.

Ces paramètres sont notés par les lettres  $a_1 \dots a_3 \dots b_1 \dots b_3$  pour le système triclinique et monoclinique, par  $c_0, c_1, c_2$  pour les systèmes rhombique et tétragonal. Pour le système hexagonal on introduit un paramètre à part  $m$ , défini par la formule  $m = \sqrt{\frac{1 - \cos(x)}{1 - \cos^2(x)}}$ , où  $x$  est l'angle dièdre polaire du rhomboèdre principal.

Les équations 1—14 présentent les types principaux des équations de la projectivité, dont se sert l'auteur pour simplifier les calculs (p.p. 58—59).

Pour le système triclinique servent:

- l'équat.: 1) au calcul des symboles projectifs des faces,  
 2) » » » » » » arêtes,  
 3) au calcul inverse des symboles simples des faces d'après les symboles projectifs donnés.  
 4) Il en est de même pour le calcul des arêtes,

Pour le système monoclinique:

- l'équat.: 5) sert au calcul des symboles projectifs des faces,  
 6) » » » » » » arêtes.  
 7) au calcul inverse des symboles simples des faces,  
 8) » » » » » » arêtes,

Pour le système rhombique:

- 9) au calcul des symboles projectifs des faces,  
 10) » » » » » » arêtes.

De même par analogie pour le système tétragonal

- l'équat.: 11) sert au calcul des symboles des faces,  
 12) » » » » » » arêtes,

Enfin 13) et 14) par analogie servent au calcul des cristaux du système hexagonal.

Dans les études suivant la nouvelle méthode se présente comme problème fondamental:

Etant donné le symbole  $r$  ( $r_0 r_1 r_2$ ) d'une zone, et dans la zone le symbole  $p$  ( $p_0 p_1 p_2$ ) d'une face, ainsi que l'angle  $\alpha$  que forme cette dernière avec une face

inconnue  $x(x_0, x_1, x_2)$  de la même zone, on cherchera le symbole de cette face. Pour le calcul on se sert de la formule:

$$x_0 : x_1 : x_2 = p_0 \left( \cot \alpha + \frac{z_0'}{p_0' R'} \right) : p_1 \left( \cot \alpha + \frac{z_1'}{p_1' R'} \right) : p_2 \left( \cot \alpha + \frac{z_2'}{p_2' R'} \right) \quad (15)$$

dans laquelle

$$R' = \sqrt{z_0'^2 + z_1'^2 + z_2'^2}, \text{ et de même}$$

$$z_0' = r_1' p_2' - r_2' p_1'; \quad z_1' = r_2' p_0' - r_0' p_2'; \quad z_2' = r_0' p_1' - r_1' p_0'$$

La déduction de cette formule se trouve page 60—61.

Les symboles simples et projectifs du système cubique étant identiques, la formule se simplifie pour ce système:

$$x_0 : x_1 : x_2 = p_0 R \cot \alpha + z_0 : p_1 R \cot \alpha + z_1 : p_2 R \cot \alpha + z_2. \quad (15a)$$

Les mêmes formules servent de solution au problème.

Etant donné le symbole  $r(r_0, r_1, r_2)$  de la face et de l'arête qui s'y trouve  $p(p_0, p_1, p_2)$ , ainsi que l'angle  $\alpha$ , que forme cette dernière avec une autre arête  $x(x_0, x_1, x_2)$  appartenant à la même face; on cherchera le symbole du dernier?

Comme un exemple des plus simples est donné le suivant:

Trouver le symbole de la face qui donne le reflex

$$+ 54^\circ 44'; \quad + 45^\circ 0'.$$

D'abord on fait le calcul correspondant au second nombre. Considérant les directions<sup>1)</sup> on aura pour ce cas  $r = (001)$   $p = [010]$ ,

$$\text{d'où: } z = \begin{vmatrix} 001 \\ 010 \end{vmatrix} = \bar{1}00; \quad R = 1; \quad \cot \alpha = 1$$

Par conséquent suivant la formule 15a) on calcule

$$x_0 : x_1 : x_2 = \bar{1} : 1 : 0.$$

Ensuite on passe au calcul de la face dans la zone trouvée, pour laquelle, suivant la règle qui a été mentionnée plus haut<sup>2)</sup>, il faut prendre le symbole ( $\bar{1}10$ ).

Ainsi  $r = [\bar{1}10]$ ;  $p = (001)$

$$\text{d'où } z = \begin{vmatrix} \bar{1}10 \\ 001 \end{vmatrix} = 110; \quad R = \sqrt{2}; \quad \text{mais } R \cot \alpha = 1 \text{ (à peu près).}$$

<sup>1)</sup> Pour rendre l'examen plus facile, il est utile de représenter graphiquement les résultats.

Alors on verra facilement, que pour passer de la zone (010) à la zone cherchée dans la direction du mouvement inverse des aiguilles d'une montre, il faut poser l'oeil du côté de la face (001) [et non (00 $\bar{1}$ )].

<sup>2)</sup> C. à d. pour passer dans la direction du mouvement inverse des aiguilles d'une montre, de la face (001) vers la face cherchée.

De là, on calcule :

$$x_0 : x_1 : x_2 = 1 : 1 : 1.$$

Or, c'est le symbole cherché de la face qu'on examine.

De cette manière, on peut déterminer le symbole de chaque face en deux fois.

Mais on peut déduire la formule définitive qui exprime immédiatement le symbole projectif; ainsi

$$p_0' : p_1' : p_2' = \text{cs } \alpha : \text{sn } \alpha : \cot A \quad (17)$$

Pour obtenir le symbole ordinaire, il ne reste qu'à faire le calcul d'après les équations de la projectivité du cristal donné (1—12).

Dans le cas général (pour le système triclinique) nous trouverons :

$$\frac{p_0}{p_1} = \frac{a_4 (\text{cs } \alpha - a_3 \cot A) - a_2 (\text{sn } \alpha - a_5 \cot A)}{a_1 (\text{sn } \alpha - a_3 \cot A)} \quad (17a)$$

$$\frac{p_0}{p_2} = \frac{a_4 a_4 \cot A}{a_1 a_4 \cot A}$$

Inversement, s'il faut trouver les coordonnées d'un certain plan (pour s'assurer par exemple de sa présence ou de son absence) ou déduit

$$\text{cs } \alpha : \text{sn } \alpha : \cot A = a_1 p_0 + a_2 p_1 + a_3 p_2 : a_4 p_1 + a_5 p_2 : p_2.$$

De là: 
$$\text{tg } \alpha = \frac{a_4 p_1 + a_5 p_2}{a_1 p_0 + a_3 p_1 + a_3 p_2}$$

et (17b)

$$\text{tg } A = \frac{a_4 p_1 + a_5 p_2}{p_2 \text{sn } \alpha}.$$

Ces formules et ces équations de la projectivité ne sont vraies que dans le cas où l'ordre des axes est l'ordre ordinaire, de manière que l'arête [001] corresponde à la zone verticale et que l'axe [100] soit dirigé vers l'observateur. S'il arrive que la cristal est orienté suivant une autre zone, l'équation devra être changée et on aura un autre problème.

Ce problème pourra être exprimé de cette manière :

Etant données les équations de la projectivité pour le cas où le cristal est orienté suivant la zone [001] et suivant le plan (100) et en supposant que l'ordre des indices du symbole soit l'ordre ordinaire c. à d. qu'il soit 0, 1, 2, chercher les équations de la projectivité en supposant que ces indices sont disposés dans un autre ordre  $j, k, l$  (où  $j, k, l$  sont un des nombres 0, 1, ou 2).

L'équation de la projectivité aura alors la forme

$$\frac{p'_j}{p_k} = \frac{a'_1 p_j + a'_3 p_k + a'_3 p_l}{a'_1 p_k + a'_3 p_l} \quad \text{et} \quad \frac{r'_j}{r'_i} = \frac{a'_4 r_j}{(a'_2 a'_5 - a'_3 a'_4) p_j - a'_1 a'_5 r_k + a'_1 a'_4 r_i} \quad (18)$$

Notons<sup>1)</sup> (100) par  $X_0$ ; l'arête [010] par  $x_1$   
 » (010) »  $X_1$ ; » [001] »  $x_2$   
 » (001) »  $X_2$ ; » [011] »  $r$   
 » (111) »  $O$

et de même  $\cot(x_1, x_2) = c_1$ ;  $\cot(x_2, r) = c_3$ ;  $\cot(X_2, X_0) = c_2$ ;  $\cot(O, X_0) = c_5$   
 $\text{sn}(x_1, x_2) = s_1$ ;  $\text{sn}(x_2, r) = s_3$ ;  $\cot(X_0, X_1) = c_4$ .

En nous servant des équations 18) nous calculerons sans peine (c. à d. nous exprimerons en fonction des coefficients cherchés  $a_1, a_2 \dots$ ) les grandeurs  $c$  et  $s$  suivant les formules connues du système cubique et de là nous pourrons exprimer inversement ces coefficients en fonction des grandeurs  $c$  et  $s$ .

On trouve: <sup>1)</sup>

$$\begin{aligned} a'_1 &= \frac{c_5}{s_3} - \frac{c_2}{s_1} - c_4 (c_2 - c_3) = \frac{c_5}{s_3} - a'_3 - a'_2 \\ a'_2 &= c_4 (c_4 - c_3) = c_4 a'_4 \\ a'_3 &= c_2 / s_1 \\ a'_4 &= c_4 - c_3 \\ a'_5 &= -c_4 \end{aligned}$$

Mais comme les grandeurs  $c$  et  $s$  peuvent être facilement déterminées dans les équations primitives avec les coefficients  $a_1, a_2 \dots$ , les équations 19) présentent la solution de la question posée sous une forme générale.

L'auteur choisit pour l'application de ces formules l'exemple de l'épidote (§ 25 p. 65).

Dans le cas où le cristal est limité par plusieurs zones jouant un rôle prédominant et se coupant suivant une même face, les observations se font plus commodément, si on le met au point de manière à ce que sa face particulière (celle où les zones se croisent) soit perpendiculaire à l'axe mobile et que l'une des arêtes de cette face, dans la position primitive de l'appareil, soit parallèle à l'axe immobile.

Si nous donnons à la face particulière le symbole (001) et à l'arête choisie le symbole [100] nous pourrons dire que le cristal est orienté suivant la zone des arêtes (001) et suivant l'arête [100].

<sup>1)</sup> Nous supposons partout l'ordre convenu des indices  $c, \text{ à d. l'ordre } j, k, l$ .

Dans ce cas les équations de projectivité auront la forme :

$$\begin{aligned} \frac{r_0'}{r_1'} &= \frac{A_1 r_0 + A_2 r_1 + A_3 r_2}{A_4 r_1 + A_5 r_2} \quad \text{et} \quad \frac{p_0'}{p_1'} = \frac{p_0}{B_1 p_0 + B_2 p_1} \\ \frac{r_1'}{r_2'} &= \frac{r_2}{r_2} \quad \text{et} \quad \frac{p_1'}{p_2'} = \frac{B_3 p_0 + B_4 p_1 + B_5 p_2}{B_3 p_0 + B_4 p_1 + B_5 p_2} \end{aligned} \quad A)$$

Ces équations sont analogues aux équations 1) et 2) et par conséquent leurs coefficients peuvent également être déduits des observations, par voie d'analogie.

Seulement nous devons employer partout au lieu des faces leurs normales, et au lieu des arêtes, les faces qui leur sont perpendiculaires.

Désignons maintenant : l'arête [100] par  $X_0$  et la face (010) par  $x_1$   
 » [010] »  $X_1$  » (001) »  $x_2$   
 » [001] »  $X_2$  » (011) »  $r$   
 » [111] »  $O$  »

Il nous faudra déterminer les angles  $(x_1, x_2)$ ,  $(x_2, r)$ ,  $(X_0, X_2)$ ,  $(X_0, X_1)$  et  $(O, X_1)$ . Au moyen de ces données calculons les grandeurs  $c_1, s_1, c_3, s_3, c_2, c_4$  et  $c_5$  et de là — à l'aide des équations 19), aussi les coefficients des équations de projectivité.

Le passage des équations A) aux équations ordinaires de projectivité est analogue au passage des équations 3) et 4) aux équations 1) et 2).

La question inverse qui consiste à trouver les coefficients  $a$ , en connaissant les grandeurs des coefficients  $a'$ , est également facile à résoudre.

Pour cela, il suffit de calculer à l'aide des équations à coefficients  $a'$  les grandeurs  $c_1, c_2, c_3, c_4$  et  $c_5$ ; alors les coefficients  $a$  seront déterminés par les équations 19).

Passons maintenant au cas, où la mise au point suivant une zone quelconque est inutile ou même impossible; il arrive par ex., qu'on n'observe dans un débris de cristal que 2 ou 3 plans pouvant servir aux mesures.

Il suffit alors de déterminer les angles dièdres formés par ces plans.

Soient leur coordonnées :

$$A_1, a_1 \quad \text{et} \quad A_2, a_2.$$

Alors, en vertu de la formule 17), nous remarquerons que les cosinus des angles, formés par les normales à ces plans avec les 3 axes rectangulaires coordonnés, seront proportionnels :

$$\text{cs } \alpha_1 : \text{sn } \alpha_1 : \cot A_1 \quad \text{et} \quad \text{cs } \alpha_2 : \text{sn } \alpha_2 : \cot A_2$$

L'angle qu'ils font entre eux sera donc déterminé par la formule

$$\begin{aligned} \text{cs } (n_1, n_2) &= \frac{\text{sn } \alpha_1 \text{sn } \alpha_2 + \text{cs } \alpha_1 \text{cs } \alpha_2 + \cot A_1 \cot A_2}{\sqrt{1 + \cot^2 A_1} \sqrt{1 + \cot^2 A_2}} \\ &= \{ \text{cs } (\alpha_1 - \alpha_2) + \cot A_1 \cot A_2 \} \text{sn } A_1 \text{sn } A_2 = \text{cs } (\alpha_1 - \alpha_2) \text{sn } A_1 \text{sn } A_2 + \text{cs } A_1 \text{cs } A_2 \quad 24) \end{aligned}$$

De cette manière nous avons obtenu une formule connue de la trigonométrie sphérique.

On sait qu'au moyen d'une très simple transformation elle se prête facilement à l'emploi des logarithmes.

Désignons l'angle  $\alpha_1 - \alpha_2$  par  $\alpha'$  et déterminons l'angle auxiliaire  $\beta$ , de cette manière:

$$\operatorname{tg} A_1 \operatorname{cs} \alpha' = \cot \beta.$$

Dans ce cas, la formule 24) prend la forme

$$\operatorname{cs}(n_1 n_2) = \frac{\operatorname{cs} A_1}{\operatorname{sn} \beta} \operatorname{sn}(A_2 + \beta) \quad (25)$$

et devient propre au calcul logarithmique.

Passons à l'examen des cristaux hexagonaux.

Si c'est possible nous les mettrons au point suivant la zone verticale  $[111]$  et suivant un des plans du prisme de la première espèce auquel nous donnerons le symbole  $[\overline{2}11]$

Soient les angles mesurés:  $+A$ ;  $+z$ .

Calculons la zone à l'aide du second angle.

Admettant la formule 15a) nous devons prendre  $r = (111)$ ,  $p = [0\overline{1}1]$ .

On trouve  $R = \sqrt{3}$  et  $z = (\overline{2}11)$ ; par conséquent le symbole de la zone sera:

$$x_0 : x_1 : x_2 = -2 : \sqrt{3} \cot z + 1 : -\sqrt{3} \cot z + 1 \quad (26)$$

Remarquons, que ce symbole calculé est le symbole ordinaire rationnel de la zone.

Ayant déterminé la zone il nous sera facile à l'aide de la même formule de calculer la face.

Mais au lieu de répéter le calcul, nous pourrions réduire les deux formules en une seule:

$$p'_0 : p'_1 : p'_2 = \cot A \cdot \sqrt{2} + 2 \operatorname{cs} z : \cot A \cdot \sqrt{2} - \operatorname{cs} z + \sqrt{3} \cdot \operatorname{sn} z : \cot A \cdot \sqrt{2} - \operatorname{cs} z - \sqrt{3} \cdot \operatorname{sn} z \quad (27)$$

Pour trouver le symbole ordinaire il ne reste qu'à calculer au moyen des équations de projectivité du minéral donné (13) c. à d. au moyen des équations de la forme:

$$\begin{aligned} p_0 &= \frac{p'_0 + \frac{m-1}{3}(p'_1 + p'_2)}{p'_1 + \frac{m-1}{3}(p'_0 + p'_2)} \\ p_1 &= \frac{p'_1 + \frac{m-1}{3}(p'_0 + p'_2)}{p'_2 + \frac{m-1}{3}(p'_0 + p'_1)} \end{aligned}$$

et comme  $p'_0 + p'_1 + p'_2 = 3 \cot A \sqrt{2}$ , alors

$$\begin{aligned} p_0 &= \frac{m \cdot \cot A \sqrt{2} + 2 \operatorname{cs} z}{m \cot A \sqrt{2} - \operatorname{cs} z + \sqrt{3} \cdot \operatorname{sn} z} \\ p_1 &= \frac{m \cot A \sqrt{2} - \operatorname{cs} z - \sqrt{3} \cdot \operatorname{sn} z}{m \cot A \sqrt{2} - \operatorname{cs} z - \sqrt{3} \cdot \operatorname{sn} z} \end{aligned} \quad (28)$$



Au moyen de cette formule nous déterminons en une fois le symbole simple de la face observé.

La formule (27) présente un des cas particuliers, lorsque  $m$  (le coefficient de l'extension) est égal à 1.

Elle peut être immédiatement appliquée pour les cristaux du système cubique, si on les oriente suivant la zone [111].

On peut les orienter suivant la zone [111] dans tous les cas, même si les faces de cette zone et la face (111) sont absentes.

Prenons comme exemple un clivage de spath calcaire. La normale à la face du rhomboèder forme avec l'axe principal l'angle  $44^{\circ}26'40''$ , et c'est pour cela qu'en mettant à cet angle le vernier du limbe horizontal, nous aurons placé le cristal de manière à ce qu'en faisant le tour entier du limbe vertical les centres des réflexions des trois faces du rhomboèdre passeront successivement par le centre du réticule.

Ensuite, l'auteur expose la solution de la question inverse c. à d. comment doit on calculer les coefficients des équations de projectivité à l'aide des données fournies par l'observation.

Sous sa forme la plus générale ce problème peut s'exprimer de la manière suivante:

Ayant observé la position de quatre faces telles que trois d'entre elles ne se trouvent dans la même zone, ces faces ayant pour symboles:

$$p_0 (p_{00} p_{01} p_{02}), \quad p_1 (p_{10} p_{11} p_{12}), \quad p_2 (p_{20} p_{21} p_{22}) \quad \text{et} \quad p_3 (p_{30} p_{31} p_{32});$$

chercher les coefficients des équations de projectivité?

La solution de ce problème est exposée page 71 et 72. Mais dans la plupart des cas on peut se borner à un problème moins compliqué. Ainsi:

Le cristal étant orienté suivant la zone [001] et la face (100), les coordonnées des faces (100), (010), (001) et (111) sont immédiatement connues. Déterminer les coefficients des équations de projectivité?

Dans ce cas, l'équation de projectivité:

$$\frac{p_0'}{p_1'} = \frac{a_1 p_0 + a_2 p_1 + a_3 p_2}{a_1 p_1 + a_3 p_2} \quad \text{A)}$$

$$\frac{p_1'}{p_2'} = \frac{a_1 p_1 + a_3 p_2}{p_2}$$

Au plan (100) correspondent les coordonnées  $90^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ : et admettons que le plan

$$\begin{array}{ll} (010) & \text{correspondre à } 90^{\circ}, \alpha. \\ (001) & \text{» à } A_1, \alpha_1 \\ (111) & \text{» à } A_2, \alpha_2 \end{array}$$

Si pour abrégé le calcul, on introduit les grandeurs auxiliaires  $k$  et  $g$  de la formule  $C$  (page 73) nous tirerons la solution voulue exprimée par l'équation (33) (p. 73).

En général, il est plus simple de déterminer d'abord les symboles projectifs et de passer ensuite à la détermination des coefficients.

Après avoir noté le symbole projectif de la face

$$\begin{aligned} (010) & \text{ par } p_0 p_1 0 \\ (001) & \text{ » } p_{10} p_{11} p_{12} \\ (111) & \text{ » } p_{20} p_{21} p_{22} \end{aligned}$$

nous trouvons

$$\begin{aligned} a_5 &= p_{11}/p_{12} \\ a_4 &= p_{21}/p_{22} - a_5 \\ a_3 &= p_{10}/p_{12} \\ a_2 &= a_5 p_0/p_1 \\ a_1 &= p_{20}/p_{22} - a_2 - a_3. \end{aligned} \tag{33a}$$

Dans le cas du sousystème monoclinique  $\alpha = -90^\circ$ ,  $\alpha_1 = 0$  et par conséquent  $a_2 = a_5 = 0$

$$\begin{aligned} a_4 &= k \operatorname{sn} \alpha_2 \operatorname{cs} \theta \\ a_3 &= \operatorname{tg} A_1 \\ a_1 &= -k \operatorname{sn} \alpha_2 \operatorname{sn} \theta. \end{aligned} \tag{34}$$

Dans ce cas l'angle auxiliaire  $\theta$ , a son sens propre; il exprime l'angle compris entre les zones [010] et [110]; au lieu des formules 33a), puisque  $p_0 = 0$ ,  $p_1 = 1$ ,  $p_{11} = 0$ , on peut écrire

$$\begin{aligned} a_4 &= p_{21}/p_{22} \\ a_3 &= p_{10}/p_{12} \\ a_1 &= p_{20}/p_{22} - a_3. \end{aligned} \tag{34a}$$

Si le cristal n'est pas orienté suivant la zone [001] dans l'ordre ordinaire des axes, mais dans un autre ordre des axes, alors au moyen de la formule 33) on déduira les équations de projectivité d'un autre type. Au besoin on pourra toujours rendre à ces équations leur type primitif ordinaire en suivant la règle expliquée dans le § 24.

Enfin, il faut dire qu'on arrive rarement à observer sur un cristal les quatres faces (100), (010), (001) et (111) et qu'elles sont rarement toutes régulières.

Supposons, par exemple, qu'au nombre des faces régulières observées se trouvent

$$1) (010) \quad 2) (001) \quad 3) (110) \quad 4) (101).$$

Alors on calcule la zone *a*) par 1) et 3)  
*b*) » 2) et 4)  
*c*) » 1) et 4)  
*d*) » 2) et 3).

L'intersection des zones  $a$ ) et  $b$ ) donne la face (100) et l'intersection des zones  $c$ ) et  $d$ ) donne la face (111).

On peut opérer de la même manière dans les autres cas, et alors on arrive à simplifier la question jusqu'à en revenir à la forme qui nous a servi de point de départ.

La détermination des éléments du cristal, dans le cas du système hexagonal, est fort simple.

Admettons, que nous ayons orienté le cristal, suivant la zone [111] et suivant la face [211] et que nous ayons observé la position de la face (100), déterminée par les coordonnées  $A_0$  et  $\alpha = 0^\circ$ .

Dans ce cas, à l'aide de 27) nous trouverons

$$p_0' : p_1' : p_2' = \frac{\cot A_0 \sqrt{2} + 2}{\cot A_0 \sqrt{2} - 1} : 1 : 1 \quad \text{A)}$$

Au moyen de la formule 13), nous aurons encore

$$p_0' : p_1' : p_2' = \frac{3m}{m-1} - 1 : -1 : -1$$

D'où nous concluons, que B)

$$\frac{3m}{m-1} = \frac{3}{1 - \cot A_0 \sqrt{2}} \text{ et } m = \frac{4}{\cot A_0 \sqrt{2}} \quad \text{35)}$$

Pour conclure, l'auteur résume les particularités de la nouvelle méthode pour l'étude goniométrique. Ces particularités donnent à cette méthode des avantages incontestables sur les méthodes qu'on avait employées jusque là.

1) La mise au point du cristal ne se produit qu'une fois pour tous les plans d'un hémisphère du cristal, et ce qui est très important, la mise au point se produit suivant la zone qui se prête le mieux (par exemple celle suivant laquelle le cristal est allongé). On n'a pas besoin de centrer, si l'on n'emploie pas le signal extérieur.

2) L'étude de tout l'hémisphère du cristal peut être faite très rapidement, ce qui est important quand on observe les cristaux qui tombent en efflorescence et ceux qui sont soumis à la détérioration.

3) Chaque observation faite séparément, donne immédiatement deux angles; suivant ces deux données il est facile de calculer le symbole de la face (dans le cas le plus compliqué du sous-système triclinique — au moyen de la formule 17a).

4) Une fois que le cristal a été observé, et que la table de tous les angles correspondants à ses faces est composée, un observateur quelconque peut répéter la mise au point du premier observateur et vérifier en très peu de temps les nombres de cette table.

5) La méthode présente encore une manière très commode pour examiner les plans voisins (Vicinalflächen), parce qu'au moyen de cette méthode on évite la tâche difficile de la mise au point du cristal suivant chaque couple de plans semblables prise séparément.

6) La détermination des éléments du cristal c. à d. la détermination des coefficients des équations de projectivité; se produit au moyen de formules très simples (form. 33) même dans le cas du soussystème triclinique.

7) Parfois on peut se passer de faire l'orientation, par exemple, dans le cas où il faut mesurer l'angle compris entre deux faces; le cristal peut être appliqué à volonté et le calcul se fait au moyen de la formule 24) ou bien on peut mettre au point suivant une face (et non suivant la zone) et dans ce cas l'angle formé par cette face avec toutes les autres, peut être déterminé sans d'autres calculs.

Dans ce cas on serait obligé de se servir pour le calcul, des formules plus compliquées employées dans l'ancienne méthode.

Dans le dernier chapitre (V) de la première partie, l'auteur, se servant de différents exemples, fait connaître les détails de l'application de la nouvelle méthode. Les tables contiennent les données suivantes: la première colonne marque le N<sup>o</sup> de l'observation, la seconde donne le symbole déduit des calculs, la troisième colonne, qui a deux divisions montre les observations brutes des angles  $A$  du limbe horizontal (de la latitude) et  $\alpha$  du limbe vertical (de la longitude). Dans la quatrième colonne ces nombres sont énumérés suivant les règles exposées dans le chapitre II. Enfin la cinquième colonne donne les angles calculés par les équations de projectivité au moyen des symboles renseignés dans la seconde colonne.

En outre, pour tous les exemples, sont donnés sous les mêmes numéros, des planches sur lesquelles les observations sont notées graphiquement, d'après les nombres de la quatrième colonne.

Ces planches ne sont que des projections gnomostéréographiques du faisceau des faces qu'on a observées.

Chaque point exprimant la zone de la face sur la sphère, a un signe convenu, qui exprime le degré de perfection du reflex et, en même temps, le degré d'exactitude de l'examen. Sur les planches l'auteur a adopté les notations suivantes:

- ⊗ dénote, un magnifique reflex; une rotation préméditée de la face, d'une demi-minute déplace nettement le centre du signal du centre du réticule; par conséquent, les faces ainsi dénotées sont déterminées dans leur position dans l'espace, avec une exactitude d'au moins une demi-minute.
- ⊕ dénote les reflex, dont le degré de perfection dans la formation est tel, qu'il est difficile de commettre une erreur dépassant une minute.
- × dénote les reflex, qui peuvent présenter la possibilité d'une erreur allant jusqu'à deux minutes.

- ↔ dénote les reflex, où une erreur de cinq minutes est possible. Ici se rangent les reflex qui ne sont pas mauvais, mais qui sont trop faibles pour donner le moyen d'examiner l'intersection des fils du réticule, par conséquent on fait l'application, suivant le centre du champ.
- montre, que l'erreur peut dépasser cinq minutes. Il s'agit alors pour la plupart du temps de taches et de raies.

Les exemples que l'auteur prend pour l'examen sont:

*Pour le système cubique.*

1) La Boracite (de Strassfour). Le cristal est orienté suivant la zone  $[001]$  et la face  $(100)$ . Les symboles sont calculés au moyen de la formule (17), et les nombres de la cinquième colonne à l'aide de (17b).

2) Le spinelle (du Vésuve). Le cristal est également orienté suivant la zone  $[001]$  et la face  $(100)$ ; mais comme la face  $(001)$  et les faces de cette zone sont absentes, la mise au point est faite suivant la zone oblique des faces de l'octaèdre.

L'exemple est donné pour montrer les irrégularités de la formation des faces (l'entassement, Hypoparallelität). Pour avoir le moyen de donner ces résultats graphiquement, il est nécessaire d'avoir un réseau de grandes dimensions. L'auteur propose un réseau de dimensions suffisamment grandes, pour que dans la projection, la grandeur d'une minute (dans les endroits des projections les plus proches des faces  $(111)_4$  soit mesurée par la longueur 1 mm. C'est suivant cette échelle que les observations sont renseignées sur la figure, et que les parties correspondantes de la projection dans une position parallèle sont rapprochées vers le centre; le cercle des points, dont la latitude est  $54^\circ 44'$ , sur lequel doivent se trouver les pôles réels de toutes les faces de l'octaèdre, est désigné à part, par le pointillage. Les droites continues expriment les zones  $[110]$  et  $[1\bar{1}0]$ .

*Pour le système hexagonal.*

3) Le beryl (des monts Ilmen). Le cristal est orienté suivant la zone  $[111]$  et la face  $(2\bar{1}\bar{1})$ . Les coefficients de l'équation de projectivité sont calculés au moyen de la formule (35); pour angle on a pris l'angle moyen  $29^\circ 56\frac{1}{2}'$ , donné par les observations 2—7 de la cinquième colonne.

Les résultats obtenus sont d'une exactitude remarquable.

4) Le quartz (du Porto Sauto en Corse). Le cristal est également orienté suivant la zone  $[111]$  et la face  $(2\bar{1}\bar{1})$  mais à cause de l'absence de la face  $(111)$  et des faces de la zone  $[111]$  la mise au point est faite suivant la zone oblique des faces ↔  $(100)_3$  et —  $(100)_3$ .

Les coefficients des équations de projectivité sont calculés à l'aide des mesures obtenues dans les observations 1, 2 et 4, qui ont donné pour l'angle  $A$  la grandeur moyenne  $51^\circ 47\frac{1}{2}'$ .

*Pour le système tétragonal.*

5) Le zircon. Le débris du cristal examiné n'ayant que quelques faces qui ne forment pas des zones simples, il a été orienté d'une manière arbitraire. Pour déterminer les coefficients

des équations de projectivité, il sera suffisant de profiter de l'angle que forment entre elles les faces 4) et 4) et qui est de  $56^{\circ} 40'$ . Les calculs sont faits, en partie, suivant les zones de la formule 15) au moyen d'une méthode exposée dans les travaux précédents de l'auteur.

*Pour le système digonal, sous-système rhombique.*

6) La topaze (des monts Ilmen). Le cristal est orienté suivant la zone [001] et la face (100) mais la mise au point est faite suivant la zone [100] et la face (010).

Dans un des cristaux du groupe observé, sur les faces (010) et (011) on remarquait des reflex exposés sur les figures 28) et 29) (p. 89).

Les coefficients des équations de projectivité sont calculés au moyen des observations №№ 2 et 6. Donnons un exemple des calculs simples qui ont été faits.

D'abord on détermine les symboles projectifs des zones qui passent par la face 6 et la face absente (001), et par la face 2 et la face absente (100). La face de leur intersection sera la face absente ( $\bar{1}\bar{1}\bar{1}$ ). Son symbole projectif est:  $(-1, 8953 - 1 + 1, 0358)$ .

Si on se figure l'équation de projectivité sous la forme  $p_0' : p_1' : p_2' = c_1 p_0 : p_1 : c_3 p_2$ , à la même face correspondra le symbole projectif:  $(-c_1 - 1 + c_3)$ .

Par conséquent  $c_1 = 1, 8953$  et  $c_3 = 1, 0358$ .

Ainsi nous trouverons:

$$p_0' : p_1' : p_2' = 1, 8953 p_0 : p_1 : 1, 0358 p_2 \quad a)$$

$$r_0' : r_1' : r_2' = 0, 5276 r_0 : r_1 : 0, 9657 r_2 \quad b)$$

et inversement

$$p_0 : p_1 : p_2 = 0, 5276 p_0' : p_1' : 0, 9657 p_2' \quad c)$$

$$r_0 : r_1 : r_2 = 1, 8953 r_0' : r_1' : 1, 0358 r_2' \quad d)$$

L'imperfection de la formation du cristal ne permet pas de regarder comme très exactes les équations déduites.

Pour le sous-système monoclinique.

7) L'épidote (de Soultzbach). Le cristal est orienté suivant la zone [010] et la face (001). Le cristal étant orienté d'une manière particulière, on a obtenu une équation de projectivité d'un type particulier, dont la déduction est donnée page 92.

Plus loin au moyen des règles exposées dans le chapitre IV, sont déduites les équations de projectivité d'un autre type, correspondant à l'orientation ordinaire suivant la zone [001] et la face (100).

L'imperfection de la formation du cristal ne permet pas de regarder comme très exactes les équations déduites.

8) L'éuclase (de l'Oural). L'orientation du cristal est faite suivant la zone [001] et la face (100).

On n'observe dans ce cristal que les faces de la zone [001]; par conséquent on n'a pas pu faire le calcul des coefficients de l'équation. Les nombres des colonnes 2 et 5 sont calculés par certaines équations, qui se rapportent aux calculs des zones.

En appliquant à l'eulase on a trouvé pour le calcul de l'angle

$$\operatorname{tg}(A) = \frac{p_1'' \operatorname{tg}(32^\circ 29')}{2 p_0''}$$

et pour celui des symboles

$$\frac{p_1''}{p_0''} = \frac{2 \operatorname{tg}(A)}{\operatorname{tg} 32^\circ 29'}$$

Sous-système triclinique.

9) L'anorthite (du Vésuve). L'orientation suivant la face (001) et l'arête [010]. C'est pourquoi l'équation de projectivité est d'un autre type:

$$\frac{r_1'}{r_2'} = \frac{A_1 r_1 + A_2 r_0 + A_3 r_2}{A_1 r_0 + A_3 r_2} \quad \text{et} \quad \frac{p_1'}{p_2'} = \frac{B_1 p_1 + B_2 p_0}{B_3 p_1 + B_4 p_0 + B_5 p_2}$$

Mettant les coefficients de ces équations en rapport avec les nombres, qui sont déduits des observations, on aura les équations qui déterminent ces coefficients.

De cette manière, on a les équations a) et b) (p. 98). Ensuite, suivant les règles du chapitre IV, on obtient les coefficients de ces équations dans le type ordinaire a')—d') (p. 99).

10) L'axinite (du gouvernement d'Olonetz). D'abord l'orientation du cristal est faite arbitrairement; d'après cette orientation est composée la table (p. 100).

Pour cette orientation les équations de projectivité sont déterminées a)—d) (p. 102).

Ensuite, la transformation des axes cristallographiques est faite suivant l'axe, qui a été adopté par M. le professeur Iereméeff<sup>1)</sup> pour l'axinite d'Olonetz et c'est en partant de là que sont faits les calculs des équations a')—d') (p. 104).

Enfin, les observations sont répétées suivant une nouvelle orientation du cristal pour démontrer avec quelle précision la mesure a pu être faite, et pour déterminer le nombre décimal dans les coefficients des équations de projectivité.

<sup>1)</sup> Fig. 12 pl. III montre toute l'irrationalité de cette orientation.

## Partie II.

### Études cristallographiques.

Dans le premier chapitre, l'auteur indique les avantages que présente le porte-objet universel de sa construction, qui permet d'orienter dans l'espace la plaque examinée en lumière parallèle.

Tout d'abord, il donne le moyen à l'aide duquel on peut déterminer la position de l'axe optique quand on a affaire à une plaque d'orientation quelconque. On peut déterminer ou constater de même les sections symétriques de l'ellipsoïde optique, ainsi que la position des axes de l'ellipsoïde optique.

Ayant posé la lame entre Nicols croisés, on reconnaît facilement la section symétrique. Amenons les deux directions d'extinction successivement l'une après l'autre dans une position parallèle à l'axe de rotation du porte-objet universel. Alors, pendant le mouvement de rotation de la lame autour de cet axe d'un angle quelconque, l'extinction complète se maintiendra. Mais si l'extinction ne se maintient que pendant le mouvement de rotation d'une de ces directions, et ne se maintient pas pendant le mouvement de l'autre, cela montre que la section de la plaque ne correspond pas au plan de symétrie, mais qu'elle est parallèle à l'un des axes (de symétrie) de l'ellipsoïde; et cet axe sera une droite, ayant justement la direction d'extinction, autour de laquelle on peut faire tourner sans obtenir le maintien de l'obscurité. Le procédé, qui vient d'être décrit, donne le moyen de distinguer les systèmes cristallins dans les grains microscopiques à contours irréguliers.

Ainsi pour le système cubique toute section est isotrope.

Pour le système tétragonal et le système hexagonal toute section est symétrique par rapport à une des directions d'extinction, vu qu'elle est la trace même du plan de symétrie, qui lui est perpendiculaire, et qui le mouvement de rotation autour de la droite, qui est perpendiculaire à cette trace, ne détournera pas la plaque de la position de l'extinction complète.

Pour le système digonal, dans le cas général, une telle symétrie n'existe pas.

Mais dans les cas particuliers:

Pour le sous-système rhombique il n'y a que les faces des trois zones [100], [010] et [001] (c. à d. les faces qui appartiennent aux zones orthogonales), qui ont cette propriété. Dans



le cas du sous-système monoclinique, il n'y a qu'une zone [010], possédant cette propriété. Enfin dans le cas du sous-système triclinique, les zones orthogonales sont absentes, et par conséquent les sections semblables n'existent pas.

Ce, qui vient d'être décrit, est loin de constituer toutes les applications utiles, que présente le porte-objet universel du microscope.

Quelques-unes de ces applications seront décrites plus loin. Cependant, ce qui vient d'être dit suffit pour caractériser l'utilité des perfectionnements introduits dans le microscope, et dont l'auteur donne la description détaillée dans les chapitres suivants.

Le second chapitre comporta: la description et les moyens de vérifier les deux types du porte-objet universel.

Le porte-objet du type I (fig. 31) consiste en une lame qui sert de base et à laquelle est fixé un limbe vertical. Par le centre de ce limbe passe l'axe horizontal immobile  $J$ ; d'un côté cet axe est relié au secteur  $B$ , qui porte le vernier, et de l'autre côté de l'axe est fixé une lame à deux secteurs verticaux  $S_1S_2$ ; pendant le mouvement de rotation de l'axe, cette lame glisse sur le côté opposé du limbe; autour des centres des secteurs tourne la tige courbe  $DE$  ayant des ressorts platine supportant la plaque. L'axe  $M$  de rotation de cette tige constitue le second axe mobile de l'appareil. Il est évident, que cet axe avec les secteurs tourne autour de l'axe immobile  $J$  et que la plaque est susceptible d'obtenir en outre un autre mouvement de rotation, autour de l'axe  $M$ . Le mouvement autour de l'axe  $J$  se produit à l'aide du bouton  $F$  qui est relié aux engrenages. Le mouvement de la tige se produit au moyen de la main et pour l'arrêter on se sert de la vis  $M$ .

Au moyen d'une légère pression on peut enlever la tige  $DE$  de l'appareil et la remettre de nouveau en place; pour la fixer, on se sert des ressorts à pression.

Pour fixer l'appareil à un porte-objet ordinaire du microscope on se sert de vis.

Pour pouvoir faire les observations dans les liquides à fort pouvoir réfringent on ajoute à ces parties une cuve de verre à parois parallèles, qu'on adapte à une lame particulière, fixée au limbe vertical. Mais comme le fond de la cuve doit avoir une position horizontale, on est obligé de donner à tout l'appareil une certaine disposition. La fig. 32 montre cette disposition.

Il est évident, que si l'appareil de ce type (construit pour les observations dans l'air) est placé dans une position horizontale — les axes  $J$  et  $M$  prendront aussi une position horizontale. C'est en même temps la position principale de l'appareil, d'où nous pouvons nous éloigner en faisant les différentes observations.

Par conséquent on peut caractériser l'appareil de ce type comme appareil à deux axes horizontaux.

La projection fig. 18 (page 47) sert pour la représentation graphique des observations faites.

L'axe mobile  $M$ , traversé par les méridiens, est vu distinctement. Et les grandeurs des angles (coordonnées) se comptent à partir du centre des projections: les longitudes sont comptées suivant les petits cercles, et les latitudes suivant les grandes cercles (méridiens).

Le porte-objet de second type est représenté par la fig. 33; il consiste également en une lame  $A$ , qui sert de base (et que l'on pose sur la tablette ordinaire du microscope) et du limbe vertical  $B$ , qui est fixé à cette lame, et qui comprend encore une partie  $C$ ; cette dernière tourne autour de l'axe de ce limbe et supporte la plaque. Mais ici cette partie se compose d'un anneau double; l'anneau fondamental  $C$  est gradué et fixé à l'axe immobile  $J$ ; un autre anneau  $E$  tourne dans le premier et porte un vernier et des ressorts, qui pressent la plaque. Le mouvement de rotation de cet anneau se produit à l'aide du bouton  $D$  et d'engrenages. De plus, du côté inférieur de l'orifice rond de la lame fondamentale, on intercale la partie  $H$ , qui porte un signal qui a la forme d'une lame oblongue en verre, avec une ligne très fine tracée dans sa longueur et dans sa largeur.

On voit cette lame par l'orifice supérieur entre les ressorts. La ligne est tracée avec une grande précision parallèlement à l'axe immobile  $J$ ; elle est destinée à donner la possibilité d'établir immédiatement une direction quelconque dans la plaque parallèlement à cette axe. Pour cela, en agissant sur la vis convenable, on amène la direction voulue en coïncidence avec le fil du réticule du microscope, et ce fil est une fois pour toutes, fixé parallèlement à l'axe  $J$ ; la position peut toujours être vérifiée en abaissant le tube du microscope, jusqu'à ce que la ligne du signal  $H$  soit visible. Elle doit coïncider avec le fil. Quand dans cet appareil la plaque est amenée dans une position horizontale, l'axe immobile  $J$  est aussi horizontal, et l'axe mobile a une position verticale. Par conséquent, on peut caractériser le porte-objet de ce type, en l'appelant appareil à un seul axe horizontal. La projection fig. 17 (page 47) sert à noter les observations. Dans le centre se trouve le pôle de l'axe mobile  $M$ , dans sa position primitive et le pôle de l'axe immobile se trouve dans la circonférence de la projection, là p. e. où on lit le chiffre 0.

Chacun de ces appareils a des avantages et des défauts particuliers.

L'avantage du porte-objet du premier type, qui lui est propre, et qu'on ne saurait remplacer, consiste en ce qu'il convient pour les observations des plaques, plongées dans les liquides réfringents.

Un avantage non moins important que ce porte-objet présente, est celui, que dans les petites déclinaisons de la plaque de la position horizontale, les mouvements de rotation autour des deux axes amènent des changements presque égaux dans la position de la plaque; le mouvement autour de l'axe immobile incline toujours la plaque dans une direction connue de tout l'angle tel qu'on le lit et le mouvement de rotation autour de l'axe mobile—à peu près de tout l'angle, celui-ci étant d'autant plus petit que celui que l'on lit, que l'inclinaison de la plaque est plus grande.

Et comme pour la plupart des cas on fait les observations avec la moindre inclinaison possible, il en résulte que l'appareil donne le moyen d'orienter la plaque avec la plus grande rapidité dans la position convenable.

L'appareil du II type n'a pas ces avantages, mais ses avantages spéciaux sont:

- a) Un vaste espace pour les observations;
- b) la possibilité, qu'il présente de donner à la plaque une grande inclinaison;

c) la grande simplicité de sa construction, ainsi que la simplicité de la vérification constituent son plus grand mérite;

d) la commodité assez importante que présente cet appareil, c'est la possibilité de donner une position déterminée, qui sert du point de départ, à une direction définie dans le cristal (par exemple à celle des lamelles hémitropes dans les plagioclases);

e) la possibilité de soumettre la plaque au mouvement de rotation autour d'une droite arbitraire, parallèle au plan de la plaque.

Pour donner à l'appareil du type I les avantages exposés sous la rubrique *c* et *d*, l'auteur emploie des plaques microscopiques d'un type particulier.

Au lieu des verres porte-objets allongés ordinaires il prend des verres ronds (diamètre = 20 mm) et il place ces verres dans une lame porte-objet représentée fig. 34, dans sa grandeur naturelle, en plan et en profil.

Cette lame est faite en ébonite au milieu, se trouve un orifice rond, où l'on intercale la plaque; au-dessous, une ouverture circulaire pour observer par transparence.

Les bords de l'ouverture circulaire, sont munis de divisions, ce qui donne le moyen de faire la lecture approximative de l'angle d'inclinaison de la lame. Pour donner à l'appareil plus de stabilité, se trouve de côté une ouverture ayant un ressort en platine au moyen duquel le verre subit une pression.

Le principal problème dans la vérification de l'appareil est 1) de déterminer si l'axe fixe *J* est parallèle au plan de la plaque; 2) si l'axe mobile *M* lui est perpendiculaire. Enfin, l'auteur cite les expériences qu'il a faites pour essayer de faire d'après son nouveau procédé les mesures exactes goniométriques des cristaux sous le microscope, et pour déterminer les indices de réfraction quand on se sert de lames à faces parallèles polies.

Le premier procédé consiste essentiellement en ce que l'on observe l'image réfléchie par la face du cristal du signal qui est dessiné sur la surface de l'objectif du microscope. Le second procédé consiste à observer le déplacement du signal vu à travers la lame soumise au mouvement de rotation.

Dans le troisième chapitre l'auteur traite des déterminations particulières, en rapport avec l'étude des cristaux hémitropes.

Il introduit les notions nouvelles suivantes:

Si, dans une section quelconque les deux individus hémitropes, qui sont identiques (par ex. s'ils donnent la même série des couleurs d'interférence) sont tournés l'un par rapport à l'autre d'un certain angle, alors l'auteur appelle l'axe, autour duquel il faut tourner un des individus pour l'amener dans la position de l'autre, l'axe d'hémitropie optique. On démontre qu'un tel axe est perpendiculaire à l'axe *B* de macle, et à l'un des axes d'ellipsoïde optique. Selon que cet axe est perpendiculaire à l'un ou l'autre des axes de l'ellipsoïde, l'auteur note les axes d'hémitropie optiques: *B<sub>g</sub>* — axe perpendiculaire à l'axe *n<sub>g</sub>*, *B<sub>m</sub>* — axe perpendiculaire à l'axe *n<sub>m</sub>*, et *B<sub>p</sub>* — axe perpendiculaire à l'axe *n<sub>p</sub>*.

Si l'un des axes de l'ellipsoïde fait avec l'axe de macle l'angle  $\alpha$ , alors l'angle correspondant à l'axe d'hémitropie sera  $2\alpha$ .

Dans le cas où un des axes de l'ellipsoïde est perpendiculaire à l'axe de maclé, l'axe d'hémitropie optique, qui lui correspond, est un axe de  $180^\circ$  c. à d. qu'il remplace au point de vue optique, le véritable axe d'hémitropie (ce cas se rencontre dans la série des plagioclases voisins de l'andésine).

Le plan perpendiculaire à l'axe de maclé sera, au point de vue optique, le plan de symétrie; de sorte que si l'on connaît la position des axes optiques etc. d'un individu hémitrope, ainsi que la position de ce plan, il sera facile de déterminer la position des mêmes éléments dans l'autre individu.

Si les pôles  $A_1$  et  $A_2$  des axes optiques d'un individu (fig. 36) et le plan  $bb$  sont perpendiculaires à l'axe  $B$  de maclé, alors les points  $A_1'$  et  $A_2'$ , qui sont symétriques par rapport à ce plan, seront les axes optiques de l'autre individu. Les points  $B$  d'intersection des arcs  $A_1A_1'$  et  $A_2A_2'$  seront les pôles de l'axe de maclé, et les points  $H$  d'intersection des arcs  $A_1A_2'$  et  $A_2A_1'$  seront les pôles de la direction principale de maclé.

La section perpendiculaire à cette direction sera la section de la zone symétrique à l'extinction directe. D'autres sections de la même zone montrent la symétrie par rapport à la ligne de maclé; mais en général l'angle d'extinction diffère de  $0^\circ$  et de  $90^\circ$ . Enfin on a des sections dont les deux individus ont une extinction simultanée. Le point  $a$  est le pôle d'une direction semblable, si l'angle  $A_2aA_2' = A_1aA_1'$ .

La réunion des pôles de pareilles directions d'extinction simultanée des individus hémitropes forment sur la surface de la sphère des courbes complexes (les courbes du diagramme pl. VI se rapportent aux plagioclases).

Dans la dernière partie de ce chapitre, l'auteur montre, comment on détermine l'angle vrai de deux directions quelconques, lorsqu'on a observé l'angle apparent. Pour faire cette détermination on se sert du diagramme fig. 37. Un cercle à part doit être tracé pour chaque cristal. Les cercles tracés sur ce diagramme se rapportent aux minéraux suivants: le cercle  $Ab$  — à l'albite, le cercle  $An$  — à l'anorthite, le cercle  $M$  — au mica et le cercle  $C$  — à la calcite. Si l'on veut déterminer l'angle vrai (pour fixer les idées prenons l'albite), connaissant l'angle apparent, on mène un rayon vecteur par le point de la circonférence, qui exprime la grandeur de l'angle observé, jusqu'à l'intersection avec le cercle  $Ab$ ; du point d'intersection on mène une droite horizontale jusqu'à l'intersection de la circonférence. Alors l'angle vrai pourra se lire immédiatement.

Pour déterminer l'angle apparent, connaissant l'angle vrai, on se sert de la construction inverse.

Dans le chapitre IV, l'auteur expose le moyen de tracer les diagrammes exprimant les constantes optiques des feldspaths. Il commence par montrer le moyen de réduire la détermination à une seule observation en se servant de l'épure de Max Schuster des angles d'extinction pour les faces (001) et (010).

Soit  $A_3$  la position déterminée de l'un des axes optiques; soient  $p$  et  $M$  les pôles du 2-ème et du 3-ème pinacoïdes (fig. 38) dont les angles d'extinction  $\alpha$  et  $\beta$  sont connus.

Par les pôles  $A_2$  et  $p$  on mène un arc du grand cercle, de même on mène l'arc  $pC$  de manière à ce qu'il forme avec l'arc  $MpM$  l'angle donné d'extinction  $\alpha$ , et enfin on mène encore l'arc  $pA$  de manière à ce que  $\angle A_1 p C = \angle A_2 p C$ ; alors suivant le théorème connu de Fresnel, le pôle de l'axe optique cherché se trouvera sur l'arc  $pA_1$ .

Cet axe, comme point d'intersection des deux arcs, sera parfaitement déterminé, si on emploie la même construction par rapport au plan  $M$ , auquel appartient l'angle d'extinction  $\beta$ : on mène l'arc du grand cercle  $A_2M$  et l'arc  $MC$  de manière que l'angle  $pMC$  soit égal à l'angle donné d'extinction  $\beta$ . De cette manière on trouvera facilement l'arc  $MA_1$  pour lequel on a  $\angle A_1MC = \angle A_2MC$ . Le point  $A_1$  d'intersection des deux arcs trouvés détermine la position du second axe optique.

Pour trouver les axes de l'ellipsoïde optique on mène l'arc de grand cercle  $A_1A_2$ . Les bissectrices  $O_1$  et  $O_2$  de l'angle  $A_1A_2$  ainsi que le pôle  $O_3$  de cet arc seront les pôles cherchés de l'axe de l'ellipsoïde (fig. 39).

Si l'on veut trouver la position des éléments optiques dans le second individu de maclé, on doit mener l'arc de grand cercle (en ce cas une droite)  $b$ , dont les pôles sont les points  $M$ , et déterminer les points  $A_1'$  et  $A_2'$  symétriques par rapport à cet arc. Ces points exprimeront la position des axes optiques de l'autre individu; la position des axes optiques étant connue il sera facile de trouver les positions des axes de l'ellipsoïde du second individu.

Connaissant la position relative des axes optiques et des axes de l'ellipsoïde des deux individus, on trouvera facilement la direction principale et les axes optiques d'hémitropie.

Ainsi, en se servant de l'épure de Max Schuster, on pourra se borner à déterminer l'orientation cristallographique d'un des axes optiques.

Pour cela, dans la plupart des cas il est préférable de choisir l'axe noté par  $A_3$  qui ne forme pas un angle très considérable avec la normale au plan  $M$ ; alors l'inexactitude dans la confection de la plaque microscopique ne peut avoir aucune influence.

En effet, si par exemple une erreur se commettait dans la confection de la plaque, de manière à ce que le pôle du plan de la plaque se trouvât non pas dans le point  $M$ , mais dans un certain point  $x$ , alors on inclinerait la lame de telle manière, que la propagation de l'onde se ferait suivant l'axe optique  $A_3$  et qu'en même temps les coordonnées observées soient  $A_0, \alpha_0$ ; ensuite on inclinerait la lame de telle manière que la direction de la propagation de l'onde suivrait l'axe de maclé  $M$ . On déterminerait facilement cette inclinaison en cherchant une telle position où les deux individus de maclé se confondraient au point de vue optique en un seul individu; soient  $A_0', \alpha_0'$  les coordonnées trouvées. Par les coordonnées  $A_0, \alpha_0$  et  $A_0', \alpha_0'$  on calculera facilement l'angle apparent, formé par l'axe de maclé avec l'axe optique  $A_3$ .

D'après ce qui vient d'être exposé, l'auteur détermine les constantes optiques pour tous les types des plagioclases.

Ce n'est que pour l'albite que le diagramme est basé sur les observations de Des-Cloiseaux. Dans le texte sont exposées les observations à l'aide desquelles sont composés les diagrammes suivants.

- planche IV fig. 2 — pour l'albite  
 » » » 3 — pour l'oligoclase  
 » » » 4 — pour le labrador  
 planche V fig. 5 — pour le bytownite-labrador  
 » » » 6 — pour la bytownite  
 » » » 7 — pour l'anorthite.

Enfin sur la planche V, fig. 8 sont réunis tous les principaux éléments optiques des plagioclases, ainsi: les axes optiques  $A_1$  et  $A_2$ , les axes de l'ellipsoïde optique  $n_y$ ,  $n_m$  et  $n_p$  et les plans des axes optiques.

Sur cette figure se montre distinctement cette particularité de l'oligoclase voisin de l'andésine, à savoir que l'axe  $n_y$  se rapproche de l'axe perpendiculaire au plan  $M(010)$ . Autrement dit, que l'oligoclase, au point de vue optique, se rapproche des minéraux monocliniques, et ce qui est surtout à remarquer, c'est que c'est l'oligoclase seul, qui est optiquement isomorphe avec l'orthose. Pour mieux saisir ce qui vient d'être dit, est annexé un diagramme d'orthose (fig. 1, pl. IV), dans ce diagramme sont exprimées les propriétés optiques de l'orthose (par ce diagramme on entend la loi de Karlsbad des maclés).

Si on considère, que sous le rapport géométrique, ce minéral se rapproche le plus des conditions qui caractérisent le système monoclinique, on aura la confirmation de l'idée qui a été exprimée par divers savants, que la proximité des propriétés géométriques est liée à la proximité des propriétés optiques.

Dans le dernier chapitre V, l'auteur montre, comment on peut profiter de la connaissance des constantes optiques des feldspaths pour déterminer les minéraux dans les plaques minces<sup>1)</sup>.

Pour de semblables déterminations on cherche dans la plaque une section qu'on puisse facilement déterminer d'une manière ou d'une autre, par exemple la section perpendiculaire à l'un des axes optiques, à l'axe de maclé ou la direction principale, les sections de la zone de symétrie, ou les sections perpendiculaires à l'axe  $n_m$  caractérisées par la plus haute couleur d'interférence; enfin les sections d'extinction simultanée des deux individus maclés et les sections de la zone allongée [100].

Les sections perpendiculaires à l'axe  $A_1$ . Pour ces sections on se sert du diagramme (fig. 40). Ici les courbes  $A_1'$ ,  $A_2'$  montrent la grandeur des angles d'inclinaison de la plaque pour en donner les orientations, correspondantes à ces axes;  $O'$  sont les angles d'extinction de l'autre individu de la maclé. L'étude attentive de ce diagramme nous donne les règles suivantes de détermination: si une section du cristal hémitrope est approximativement perpendiculaire à l'axe optique  $A_1$ , nous tâchons d'amener sur l'axe optique la section de l'autre individu. Cet angle peut être atteint dans les observations faites dans l'air pour l'albite-andésine et pour l'anorthite-bytownite; mais pour le labrador et les plagioclases voisins jusqu'au bytownite il n'est pas possible d'atteindre cet angle.

<sup>1)</sup> Il contient l'application de la méthode l'étude de optique pour déterminer les espèces minérales et les roches.

Comme nous allons le voir, il est facile de distinguer ces sections des sections perpendiculaires à l'axe  $A_2$  par le fait que ces dernières ont des angles d'extinction très grands. Ici ils ne sont grands que pour les plagioclases les plus voisins de l'albite (et de l'andésine).

Lorsqu'on a affaire à l'albite, il est presque indifférent pour la détermination, d'avoir une section plutôt qu'une autre.

Dans la détermination de l'anorthite-bytownite on peut se servir en outre de la réduction à la position principale qui demande une moindre inclination de la plaque, que la réduction à l'axe optique  $A_1'$  pour tous les plagioclases de cette série. C'est la seule distinction de la courbe pour les sections perpendiculaires à l'axe  $A_1$ .

Les sections perpendiculaires à l'axe  $A_2$ . Pour ces sections on se sert du diagramme (fig. 41), dont on déduit pour la détermination des plagioclases la règle suivante:

Les angles d'extinction pour l'albite-andésine, restent tout le temps dans les limites  $36^\circ - 50^\circ$ .

Le moyen d'amener les plagioclases andésine-anorthite à l'axe d'un autre individu dans l'air devient impossible. Mais pour les plagioclases anorthite-bytownite il devient possible d'amener à l'axe  $B$  d'hémitropie; pour cela, il faut soumettre le plaque à une grande inclinaison. Il devient difficile de distinguer les plagioclases anorthite-bytownite pour ces sections; cependant le diagramme montre, que l'angle d'extinction en passant de l'anorthite au labrador grandit quelque peu.

Également on peut voir sur l'épure générale des plagioclases, que pour l'anorthite, l'angle fait par les traces de clivage avec la ligne de macle est voisin de  $90^\circ$ ; pour la bytownite cet angle diffère sensiblement de l'angle droit.

#### Les sections perpendiculaires à l'axe $B$ d'hémitropie.

Si une pareille section avait été donnée d'une manière précise, on pourrait se servir du diagramme de Max Schuster (fig. 42); dans le cas des sections approximatives on peut cependant incliner et amener dans une position plus exacte.

Mais pour les déterminations au moyen de ce diagramme, il est essentiellement nécessaire de distinguer les angles positifs des angles négatifs. Le porte-objet universel en donne un moyen fort simple; après avoir placé l'axe de rotation perpendiculairement aux traces de clivage suivant (001), il ne faut qu'incliner la plaque dans la direction propre à la réduction vers l'axe optique  $A_2$ ; alors, si l'on soumet la plaque à un autre mouvement de rotation, les couleurs d'interférence monteront d'un côté et baisseront de l'autre. La direction où les couleurs s'abaissent sera la direction positive, et la direction inverse sera négative.

Il n'y a que pour l'anorthite et pour l'albite qu'on ne saurait déterminer de cette manière le signe de l'angle d'extinction. Mais les grandeurs absolues des angles sont des caractéristiques suffisantes pour ces plagioclases. Si par exemple, l'angle d'extinction est à peu près de  $20^\circ$ , alors

on aura le labrador, pour lequel on trouvera un signe négatif de cette grandeur, suivant la règle qui vient d'être donnée; dans le cas contraire ce sera l'albite.

De plus, pour les plagioclases anorthite-bytownite, on peut amener la plaque à l'axe optique  $A_2$  et de cette manière on aura une donnée essentielle pour la détermination. Dans le cas de l'anorthite, on doit incliner la plaque d'environ  $61^\circ$ , dans le cas de la bytownite d'environ  $64^\circ$ , et dans le cas du labrador d'environ  $74^\circ$ .

Enfin, dans le cas de l'oligoclase cette section est presque perpendiculaire à l'axe  $n_y$ .

Les sections perpendiculaires à la direction principale  $H$ .

Pour l'anorthite, comme on le sait, la direction principale coïncide avec l'axe optique  $A_1$ ; pour la bytownite on doit incliner la plaque de  $26^\circ$ ; pour le labrador-bytownite l'inclinaison atteint même  $50^\circ$ .

Pour les plagioclases albite-andésine, la réduction à l'axe optique est impossible; mais la réduction à la section perpendiculaire à l'axe  $n_m$  sera facile c. à d. à la section à laquelle correspond la plus haute couleur d'interférence.

Pour distinguer les plagioclases de cette série, il n'est pas aussi essentiel de déterminer la grandeur de l'angle de cette réduction; cet angle ne pourrait pas être déterminé avec la précision voulue. Ici l'essentiel est de déterminer la position de l'axe de rotation, nécessaire à cette réduction quand il s'agit de l'albite cet axe est presque parallèle à la ligne de macle, et dans le cas d'oligoclase il lui est presque perpendiculaire. La direction principale appartient à la zone de symétrie, dont il sera parlé plus loin, mais cette direction sert également à la caractéristique de la zone de symétrie, vu que la section donnée peut être soumise à un tel mouvement de rotation, que les positions successives de la lame correspondent aux sections de cette zone.

Le diagramme pour la section de la zone de symétrie a été donné par Michel Levy en 1878. Mais celui qui est donné par l'auteur est basé sur de nouvelles données lui appartenant en propre, et différant essentiellement des autres (fig. 43).

Les déterminations déduites de ce diagramme sont:

- 1) Si l'angle d'extinction dépasse  $30^\circ$  on a l'anorthite ou la bytownite.
- 2) Si l'angle d'extinction est égal ou moindre  $30^\circ$  alors l'anorthite et le bytownite seront facilement déterminés, grâce à cette particularité que, de ces sections les lames peuvent être amenées à l'axe optique. Les chiffres indiquent les angles dans l'air dont il faut tourner la lame pour l'amener à l'axe optique.
- 3) Si le plagioclase n'est ni la bytownite, ni l'anorthite et si cependant l'angle d'extinction dépasse  $17^\circ$ — $18^\circ$  on aura le labrador ou les plagioclases qui lui sont voisins.
- 4) Si l'angle d'extinction est plus grand que  $6^\circ$ , ce ne sera pas l'oligoclase.

Afin de pouvoir distinguer le labrador de l'albite, ayant la grandeur de l'angle d'extinction de  $6^\circ$ — $18^\circ$ , on doit essayer, si l'on peut amener la lame à l'axe optique, ou dans une position, qui lui est voisine. Si cela ne se peut pas, le minéral sera l'albite; dans le cas contraire,



on doit essayer d'amener la lame à l'axe  $n_m$  c. à d. à la couleur la plus haute d'interférence. La lame du labrador peut être amenée dans cette position, quand l'angle d'extinction sera de  $10^\circ$ .

5) Enfin, si l'angle d'extinction est trop petit, on aura l'oligoclase (ou l'andésine) ou bien la section de tous les autres plagioclases qui correspond au point d'intersection de toutes les courbes.

Dans ce cas il faut essayer d'amener à l'axe  $n_m$ . Pour l'albite et l'oligoclase l'angle ne sera pas grand; pour l'albite, l'axe de rotation sera approximativement parallèle à la ligne de macle et pour l'oligoclase approximativement perpendiculaire.

Pour le labrador cet angle est très grand.

De sorte que la détermination complète du plagioclase peut se faire d'après une seule section de cette zone; mais il vaut encore mieux pour la vérification, profiter d'une autre section de la même zone, ou de quelque autre indice.

Les sections suivant le plan des axes perpendiculaires à l'axe  $n_m$  se distinguent par la plus haute couleur d'interférence et sont recherchées comme telles. Dans les cas ordinaires où les lames des feldspaths sont si fines, qu'on distingue à peine les traces de la couleur jaune de premier ordre, ou bien quand les couleurs ne sortent pas des teintes grises du même ordre on peut se servir pour les observations des lames sensibles et ce qui est encore plus commode et plus simple, c'est de mettre les nicols dans une position parallèle et alors la couleur la plus haute sera mise très distinctement en relief pendant le mouvement de rotation de la tablette (fig. 44).

Les sections d'extinction simultanée des deux individus de macle, sont désignées par une ligne pointillée sur les diagrammes des plagioclases (fig. 2—8 tabl. IV et V) et elles sont réunies sur le diagramme VI. Les courbes de ce diagramme se rapportant aux divers plagioclases, sont désignées par différentes lignes. Les chiffres qui sont reliés à ces lignes montrent la grandeur des angles d'extinction (par rapport à la ligne de macle) dans les points correspondants aux courbes.

Il est évident que dans les directions principales (qui sont notées par un signe convenu) cet angle sera  $0^\circ$ . On voit que les courbes traversent les points les plus remarquables ainsi: toutes les courbes sans exception traversent le pôle de l'axe de macle, et toutes, excepté la courbe de l'anorthite, traversent la direction principale. Enfin toutes les courbes, excepté la courbe de l'oligoclase, traversent tous les axes optiques, et il n'y a que la courbe de l'anorthite, qui ne traverse que les axes  $A_2$  et  $A_2'$ . Dans tous les cas, quand les pôles des axes optiques n'appartiennent pas aux courbes mêmes, ils constituent, (ainsi que la direction principale pour l'anorthite) les points singuliers de ces courbes c'est à dire les points isolés.

En étudiant attentivement le diagramme on arrive aux règles servant à déterminer les plagioclases par les sections.

Si l'angle d'extinction est trop petit, et que la section n'est pas perpendiculaire à la direction principale, le plagioclase sera l'albite, la même chose se rapporte en partie à l'oligoclase. Mais pour les distinguer, peut servir cette circonstance, que les sections correspondantes de l'albite

seront amenées en  $n_m$  par le mouvement de rotation autour de l'axe parallèle à la ligne de maclé. Si l'axe d'extinction ne dépasse pas  $12^\circ$  et n'est pas voisin de l'axe  $B$  de maclé, on aura l'oligoclase ou l'albite.

Mais on peut distinguer l'oligoclase de l'albite par ce que, dans le premier on remarque très souvent la proximité de l'extinction des deux individus, et cela dépend de ce que l'angle entre les axes optiques des deux individus est trop petit.

Dans tous les autres cas, un aussi petit angle d'extinction est propre aux sections voisines de la perpendicularité de la direction principale.

Si l'angle d'extinction  $12^\circ—20^\circ$  est voisin de la perpendicularité à l'axe optique, le plagioclase sera le labrador ou la bytownite. Mais comme cela a été démontré plus haut, on distingue facilement ces minéraux l'un de l'autre au moyen de l'angle qui se trouve entre les axes optiques des deux individus.

Les angles d'extinction  $20^\circ—40^\circ$  sont propres aux mêmes plagioclases; à l'anorthite, pour les sections voisines de l'axe  $B$  seulement. Pour l'albite ces sections sont voisines de la perpendicularité à l'axe optique. Dans ce cas les plus petits angles (jusqu'à  $36^\circ$ ) sont propres à l'anorthite. Dans le cas du labrador les angles limites appartiennent aux sections voisines des axes optiques; dans la bytownite typique les sections d'extinction  $35^\circ—40^\circ$  sont les plus éloignées des axes optiques. Enfin, dans le minéral intermédiaire, ayant l'angle d'extinction  $35^\circ—40^\circ$  on aura la section perpendiculaire à l'axe  $n_p$ . L'albite ayant les sections  $35^\circ—45^\circ$  est facile à distinguer en ce qu' en inclinant on amène facilement chaque individu à l'axe optique. C'est pourquoi ces sections sont très utiles pour déterminer l'angle entre les axes optiques, ainsi que le minéral même.

Il est difficile d'énumérer tous les cas; il vaut mieux en faisant les déterminations, avoir recours au diagramme.

Le diagramme des sections suivant la zone  $[100]$  a aussi été proposé par Michel Levy en 1878. Mais comme l'a fait justement observer Max Schuster: 1) les données fondamentales, d'après lesquelles sont calculés les diagrammes de ce savant pèchent par l'inexactitude 2) elles ne sont applicables que dans des cas exceptionnels pour déterminer les roches (dans le porphyrites, mélaphires, phonolites), quand le plagioclase est allongé suivant la zone  $[100]$ .

Le diagramme (fig. 45) est tracé par l'auteur à l'aide des planches IV et V, représentant les constantes optiques des plagioclases. Deux courbes sont tracées pour chaque plagioclase: chacune à part exprime l'extinction d'un des individus. Ce diagramme montre, que de pareilles sections sont fort commodes pour la détermination. Mais ici ce n'est pas la grandeur absolue de l'angle d'extinction, qui est essentielle; mais c'est la différence des angles d'extinction des deux individus.

Pour l'oligoclase la différence est presque égale à zéro, pour toutes les sections de la zone (deux courbes se confondant presque dans une seule).

Pour le labrador, cet angle se balance entre  $8^\circ—15^\circ$ ; pour la bytownite  $25^\circ—35^\circ$ ; et pour l'anorthite  $36^\circ—50^\circ$  et même davantage.

Dans le cas de l'albite, cet angle est très petit avec un angle d'extinction assez grand (différence de l'oligoclase), ou bien il atteint  $6^\circ$  avec de très petits angles d'extinction. Pour distinguer l'albite du labrador, peut servir le fait que les sections du labrador sont presque perpendiculaires à la direction principale.

En se servant des sections de cette zone, on doit avoir en vue, que les deux meilleurs clivages suivant  $\{001\}$  et  $\{010\}$  lui appartiennent, et que par conséquent les traces des clivages présentent deux droites parallèles. Et si l'on a à la fois la grandeur absolue de l'angle d'extinction et celle de l'angle qui se trouve entre les directions de l'extinction alors, en théorie, une plaque de cette zone suffirait pour déterminer le plagioclase même ainsi que l'orientation de la plaque, mais en pratique on doit utiliser d'autres données.



## О ПЕЧАТКИ.

	вмѣсто:	нужно:	
стр. 21 стр. 13 снизу	$p_0 + p_2$	$p_1 + p_2$	
" 22 " 5 сверху	Дигригональн.	Тригональн.	
" 24 " 4 снизу	раціональныхъ	раціональныхъ	
" 70 " 10 сверху	упражненія	упрощенія	
" 72 при последнемъ детерминантъ форм. 31 не нужно знака —	$3\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	
" 78 въ табл. № 19	$3\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	
" 79 стр. 4 снизу два первыя числа переставить.			
" 80 " 1 "	0,816	0,518	
" 84 въ табл. № 2	$229^\circ$	$299^\circ$	
" 85 " 10 сверху	$(2'2'1')$	$(2\bar{2}1)^\circ$	
" 86 " 6 снизу	$(0\bar{1}\bar{1})$	$[0\bar{1}\bar{1}]$	
" 91 въ табл. №№ 10 и 11 столб. 8	вмѣсто	14'	нужно 20
" " № 13	" 7	" 36	" 27
" " № 14	" 7	" 54	" 44
" " №№ 16—20	" 8	" 28	" 42
" " № 18	" 7	" $35^\circ 0'$	" $34^\circ 56'$
" 92 въ уравн. проэктивн.	0,3017	0,2985	
	0,6150	0,6117	
	0,7787	0,7726	
	1,6260	1,6348	
" 93 стр. 2 и 7 снизу	$26\frac{1}{2}$	$16\frac{1}{2}$	
" стр. 1 "	0,6990	0,6995	
" 94 въ уравн. проэктивн.	0,6990	0,6995	
	0,2629	0,2609	
	1,4306	1,4296	
	0,6807	0,6750	
" 96 стр. 1 сверху	$p_1$	$p_0$	
" 9 " 9 снизу	0,4899	0,4898	
" 102 стр. 4 "	$[\bar{1}10]$	$(\bar{1}\bar{1}0)$	
" 106 " 14 сверху	граней	реберъ	
" 110 " 5 "	кристаллографическихъ	кристаллогеометрическихъ	
" " 6 "	кристаллографическихъ	кристаллооптическихъ	
" " 10 "	эти	три	
" 117 " 9 снизу	поясъ $[100]$	симметричномъ поясъ	
" 127 " 7 сверху	$A_2 = A_2'$	$A_2$ и $A_2'$	
" 167 стр. 1 "	les détermine par des	se sert de	
" " 3 снизу	recherches suivant . . .	études qui suivant . . .	
" " 1 "	présente	propose	
" " 1 "	forme	fait	
" 168 стр. 12 сверху	de la face et de l'arête	d'une zone et d'une face	
" " стр. 13 "	forme . . . arête	fait . . . face	
" " стр. 14 "	face on cherchera	zone, chercher	
" " " "	du dernier	de la 2-de face	
" " 18 "	correspondant	se rapportant,	
Въ таблицѣ II фиг. 5 (красн.)	(101)	(102)	
	(212)	(112)	
(синіе)	$[\bar{1}01]$	$[\bar{2}01]$	
	$[\bar{1}\bar{2}1]$	$[\bar{2}\bar{2}1]$	

## Объяснение таблицъ.

На таблицахъ I—III, фиг. 1—12 изображены графическіе элементы различныхъ минераловъ<sup>1)</sup>.

На каждой изъ нихъ имѣется кругъ, ограничивающій стереографическія проэкции, и на каждой изъ нихъ приведены всѣ данныя для возможно простаго графическаго рѣшенія задачъ.

Гномоническія проэкции граней означены красными кружками, а красныя линіи выражаютъ пояса. Линейныя проэкции реберъ означены синими кружками, а синія линіи выражаютъ грани.

Красныя точки есть гномостереографическія проэкции граней, а синія точки—граммастереографическія проэкции реберъ. Наконецъ, красный пунктиръ выражаетъ граммастереографическую проэцію граней, а синий пунктиръ—гномостереографическую проэцію полосовъ.

Фиг. 1 относится къ бериллу, 2 — къ кварцу, 3 — къ кальциту<sup>2)</sup>, 4 — къ циркону, 5 — къ топазу, 6 — къ эпидоту, 7 — къ пироксену<sup>3)</sup>, 8 — къ амфиболу<sup>4)</sup>, 9 — къ ортоклазу<sup>5)</sup>, 10 — къ альбиту<sup>6)</sup>, 11 — къ апортиту, 12 — къ аксиниту.

<sup>1)</sup> По системѣ, изложенной въ 1887 году въ 4-мъ издѣ по аналігической кристаллографіи.

<sup>2)</sup> Уравненія проэктивности:

$$p_0' : p_1' : p_2' = kp_0 + p : kp_1 + p : kp_2 + p \quad (k = 6,876; p = p_0 + p_1 + p_2)$$

$$3) \quad p_0' : p_1' : p_2' = 0,9506 p_0 - 0,4804 p_2 : p_1 : 1,6957 p_2$$

$$4) \quad p_0' : p_1' : p_2' = 1,901 p_0 + 0,901 p_2 : p_1 : 3,401 p_2$$

$$5) \quad p_0' : p_1' : p_2' = 1,690 p_0 + 0,880 p_2 : p_1 : 1,8005 p_2 = 0,939 p_0 + 0,489 p_2 : 0,555 p_1 : p_2$$

$$6) \quad p_0' : p_1' : p_2' = 0,984 p_0 - 0,001 p_1 + 0,498 p_2 : 0,559 p_1 + 0,071 p_2 : p_2$$

## Explication des planches.

Sur les planches I—III sont représentés les éléments graphiques de différents minéraux<sup>1)</sup>:

Chacune de ces planches a un cercle qui limite les projections stéréographiques, et sur chacune de ces planches on trouve toutes les données nécessaires pour la solution graphique, aussi simple que possible, des divers problèmes.

Les projections gnomoniques des faces sont désignées par des cercles rouges, et les lignes rouges expriment les zones. Les projections linéaires des arêtes sont désignées par des cercles bleus, et les lignes bleus expriment les faces.

Les points rouges sont des projections gnomostéréographiques des faces, et les points bleus sont des projections grammastéréographiques des arêtes. Enfin, la ponctuation rouge exprime la projection grammastéréographique des faces et la ponctuation bleue—la projection gnomostéréographique des zones.

La figure 1<sup>re</sup> se rapporte au beryl, 2<sup>me</sup> — au quartz, 3<sup>me</sup> — à la calcite<sup>2)</sup>, 4<sup>me</sup> — au zircon, 5<sup>me</sup> — à la topase, 6<sup>me</sup> — à l'épidote, 7<sup>me</sup> — au pyroxène<sup>3)</sup>, 8<sup>me</sup> — à l'amphibole<sup>4)</sup>, 9<sup>me</sup> — à l'orthose<sup>5)</sup>, 10<sup>me</sup> — à l'albite<sup>6)</sup>, 11<sup>me</sup> — à l'anorthite et 12<sup>me</sup> — à l'axinite.

<sup>1)</sup> D'après système exposé par l'auteur en 1887 (4-me étude sur cristallographie analytique).

<sup>2)</sup> Equations de projectivité:

Изъ нихъ 1, 2, 4, 5, 6, 11 и 12 составлены по наблюдениямъ, приведеннымъ въ этомъ сочиненіи, а 3, 9 и 10 по даннымъ, приведеннымъ въ 4-мъ этюдѣ по аналитической кристаллографіи.

На таблицахъ IV — VI сопоставлены главнѣйшія данныя, относящіяся къ полевымъ шпатамъ, согласно легендѣ, приведенной на таблицѣ VI.

Кромѣ того, на всѣхъ таблицахъ сплошная линия (дуга круга) выражаетъ положеніе плоскости оптическихъ осей, а пунктирная кривая — полюсы сѣченій одновременнаго затемнѣнія обоихъ индивидовъ двойника.

Послѣднія кривыя сопоставлены вмѣстѣ на таблицѣ VI.

Фигура 1 относится къ ортоклазу.

"	2	"	"	альбиту.
"	3	"	"	олигоклазу.
"	4	"	"	лабрадору.
"	5	"	"	битовнитъ-лабрадору.
"	6	"	"	битовниту.
"	7	"	"	анортиту.

Наконецъ, на фигурѣ 8 сопоставлены полюсы оптическихъ осей, осей оптическаго эллипсоида, а равно плоскости оптическихъ осей для всѣхъ плагиоклазовъ.

Les figures 1, 2, 4, 5, 6, 11 et 12 sont tracées d'après les observations mentionnées dans ce travail, et les figures 3, 9 et 10 — d'après les données, exposées dans la 4<sup>me</sup> étude sur la cristallographie analytique.

Sur les planches IV — VI sont représentées les principaux éléments géométriques et optiques des feldspaths conformément à la légende de la planche VI.

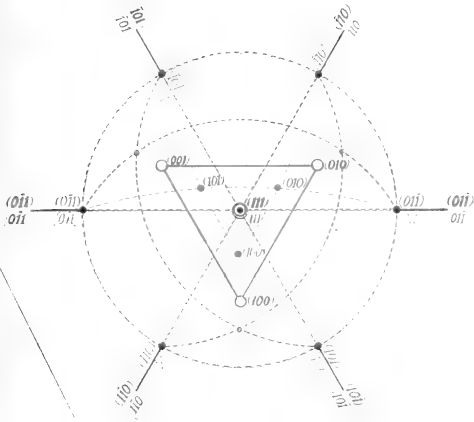
Sur toutes les planches une ligne continue (l'arc de cercle) exprime la position du plan des axes optiques, et la courbe pointillée — les pôles des sections d'extinction simultanée des deux individus de macle.

Les dernières courbes sont réunies sur la planche VI.

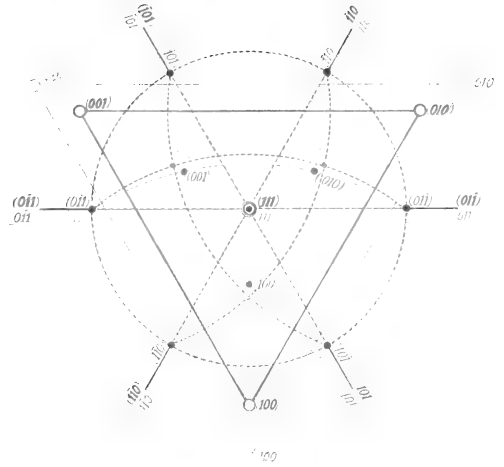
La figure 1<sup>re</sup> se rapporte à l'orthose.

"	2 <sup>de</sup>	"	"	l'albite.
"	3 <sup>me</sup>	"	"	l'oligoclase.
"	4 <sup>me</sup>	"	"	au labrador.
"	5 <sup>me</sup>	"	"	bytownite-labrador.
"	6 <sup>me</sup>	"	"	à la bytownite.
"	7 <sup>me</sup>	"	"	à l'anorthite.

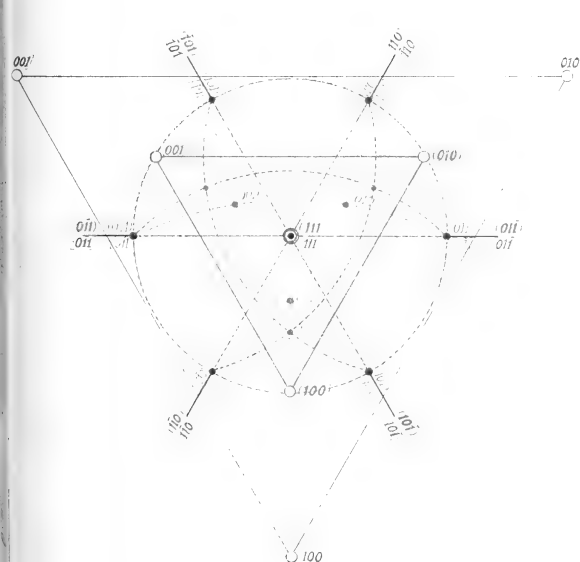
Enfin, sur la figure 8<sup>me</sup> sont réunis les pôles des axes optiques de l'ellipsoïde optique, ainsi que les plans des axes optiques pour tous les plagioclases.



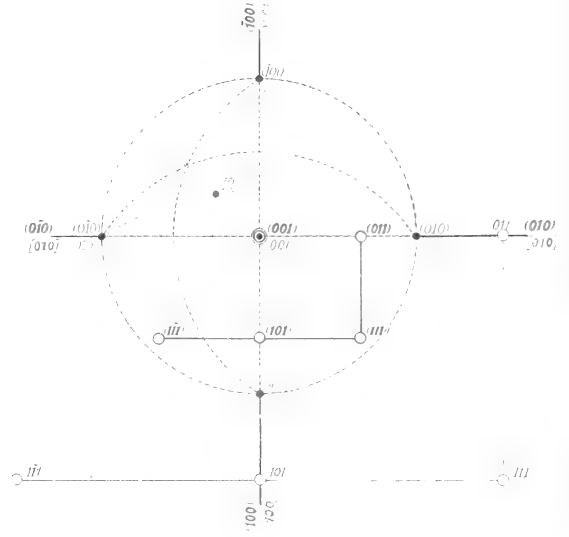
1. Кальцитъ.



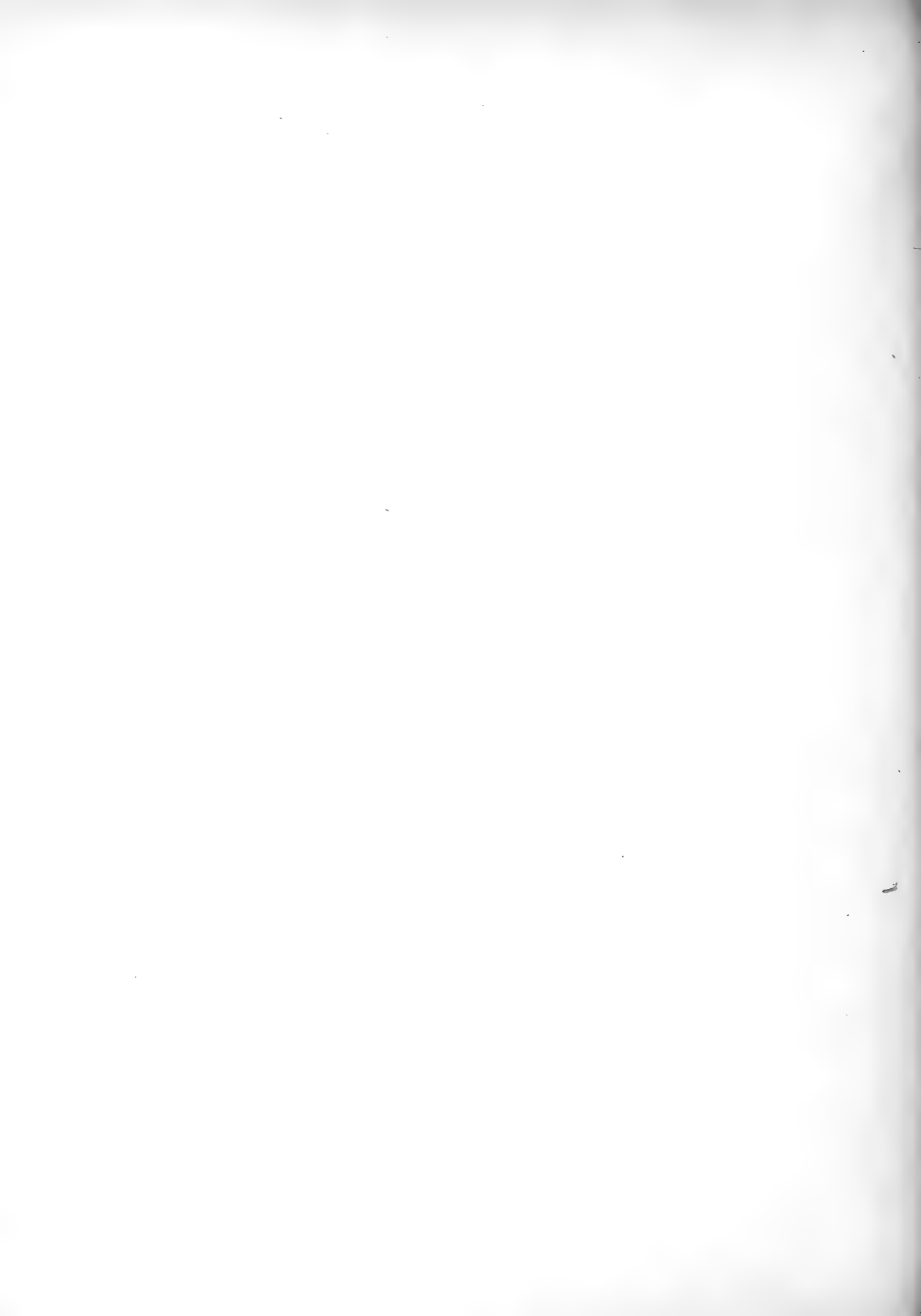
2. Кварцъ.



3. Галъдитъ.

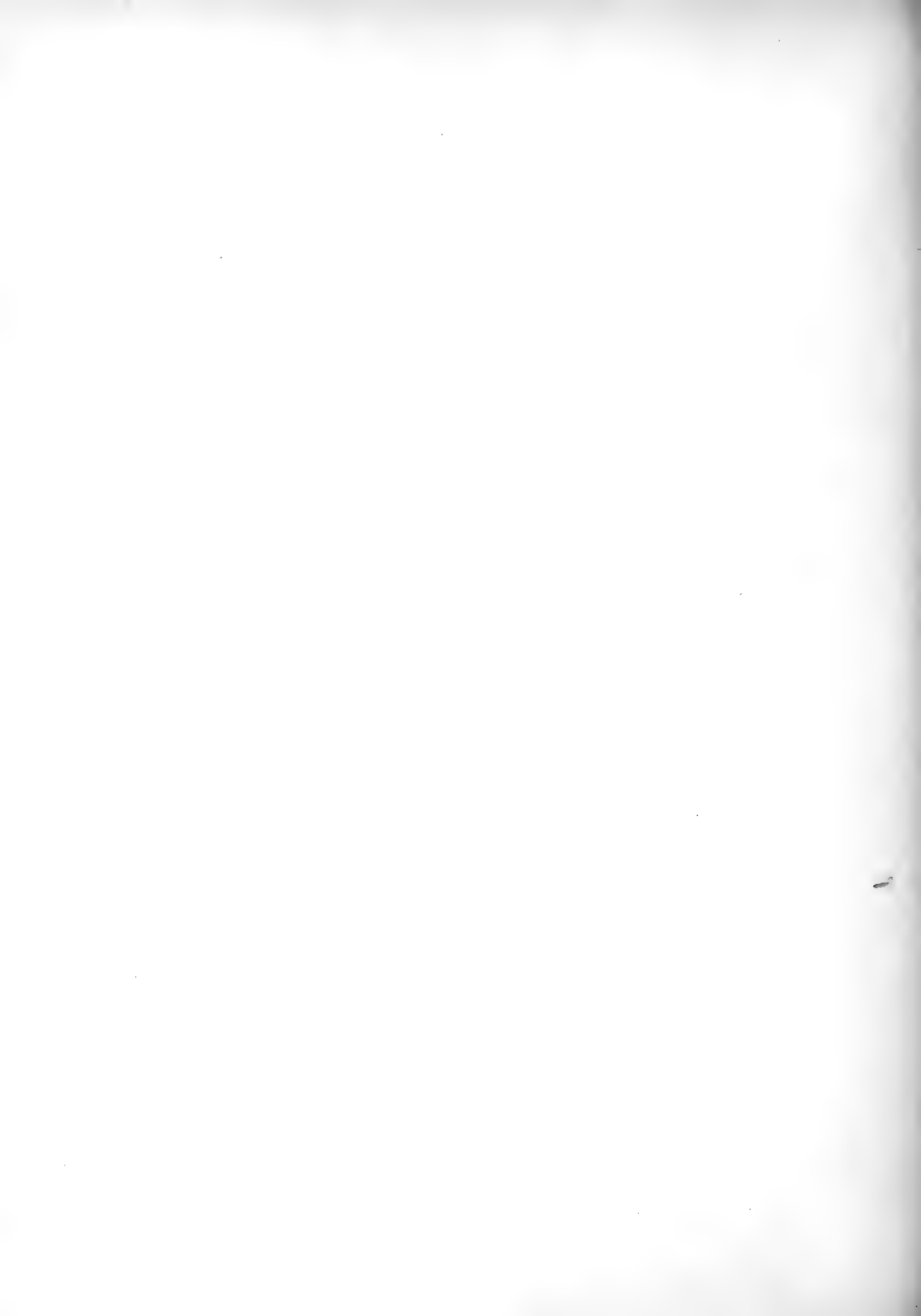


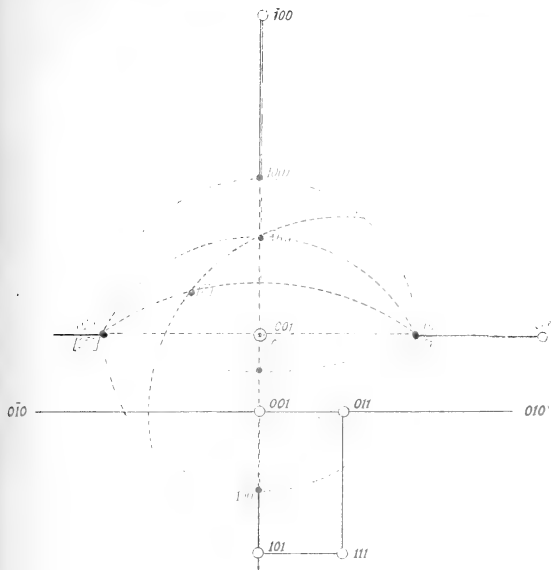
4. Цинкъ.



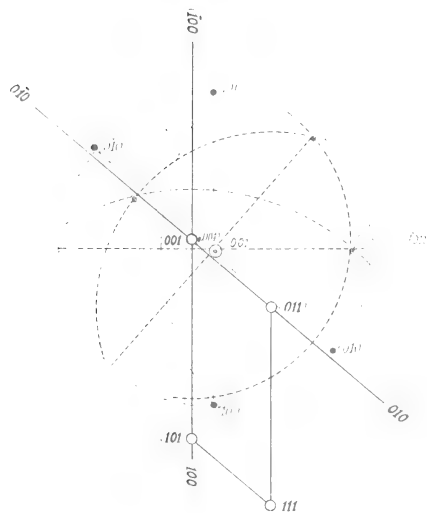




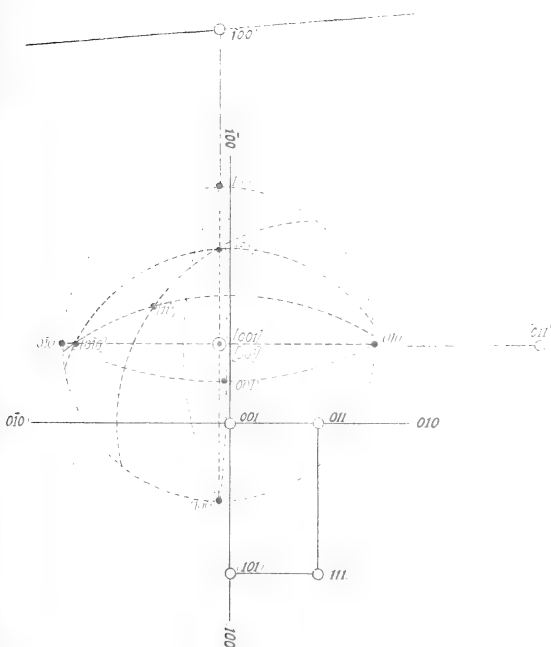




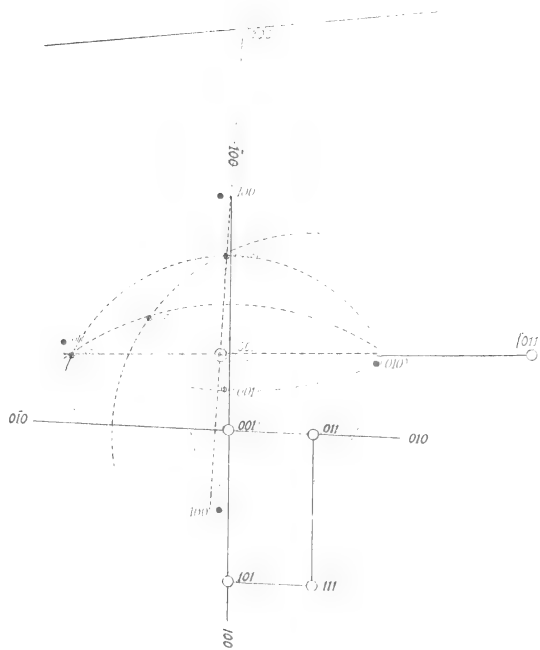
9. Дельта.



12. Дельта.

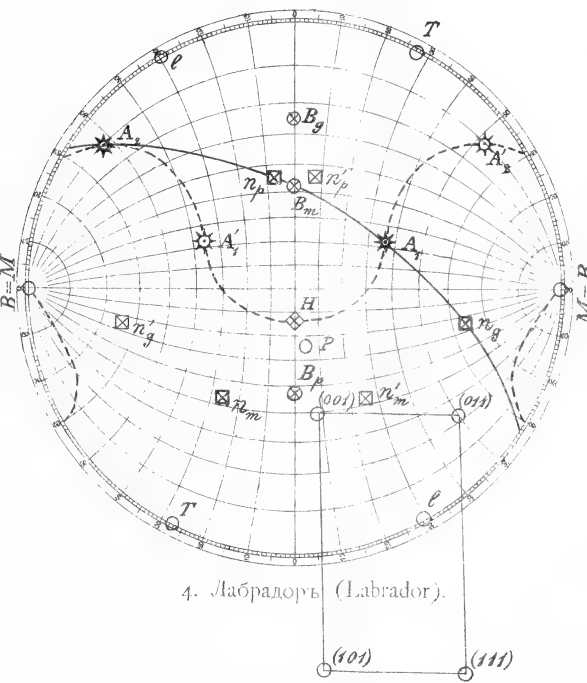
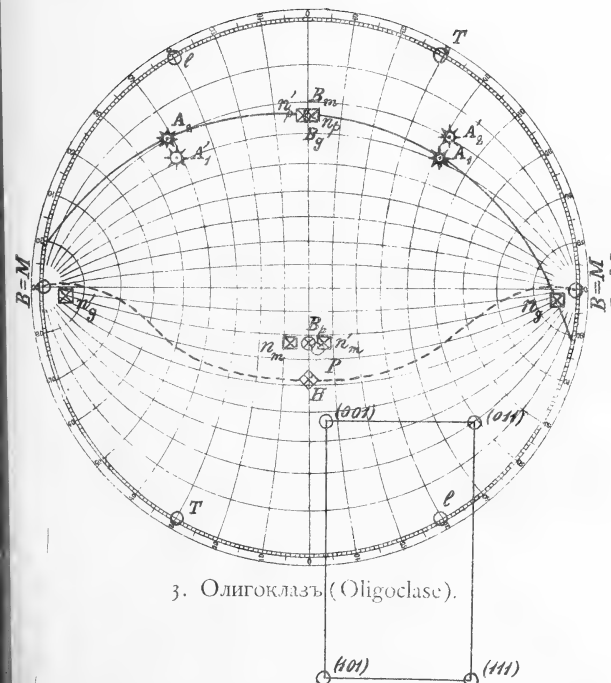
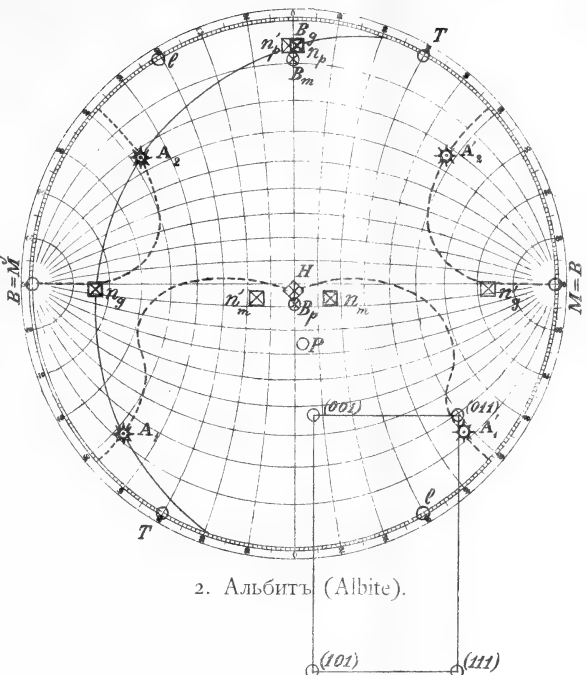
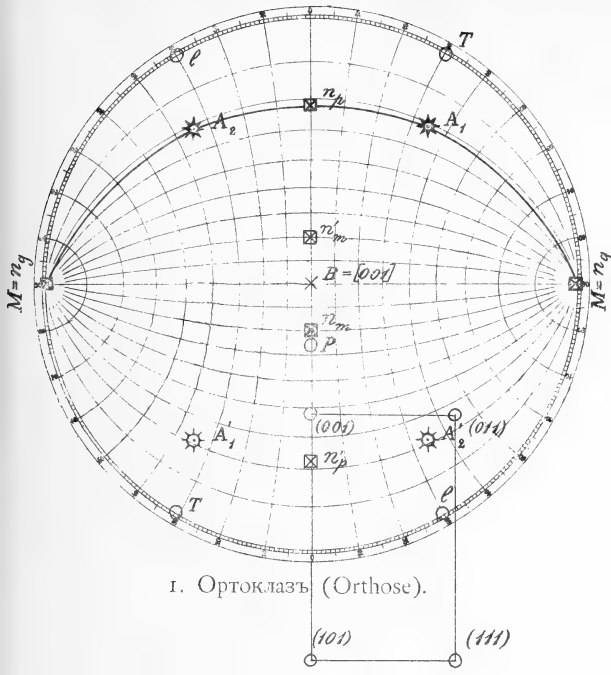


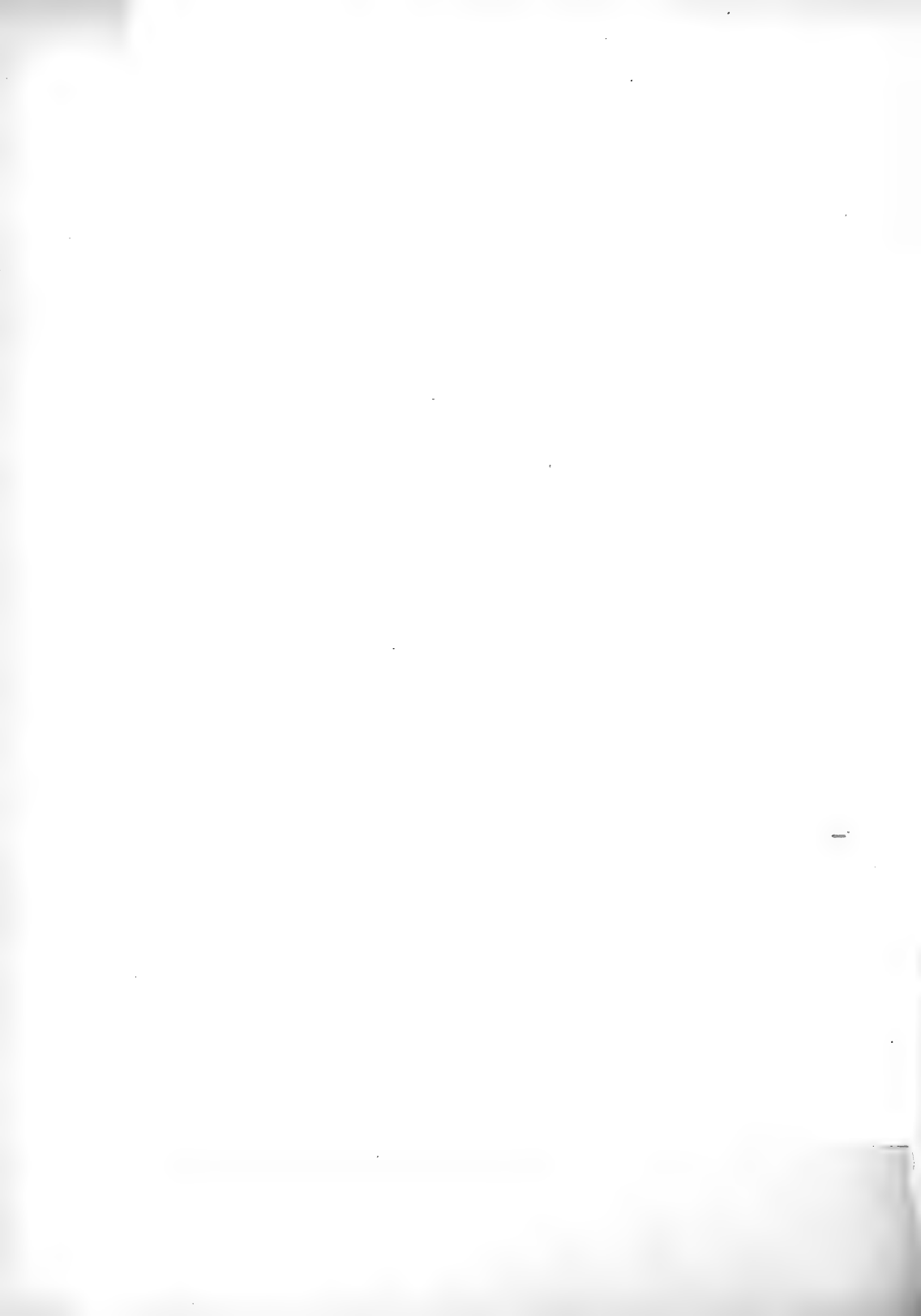
10. Дельта.

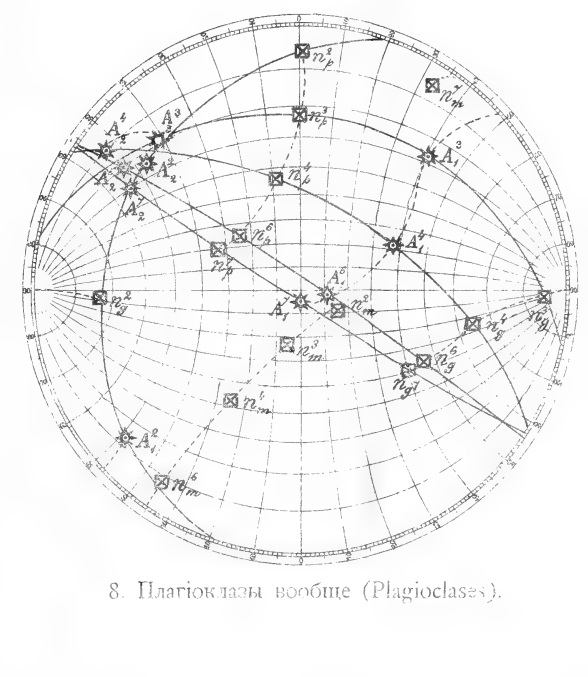
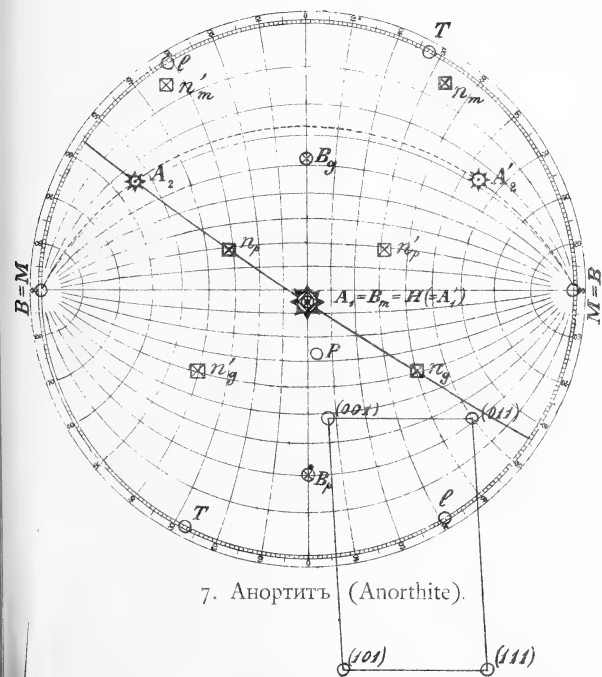
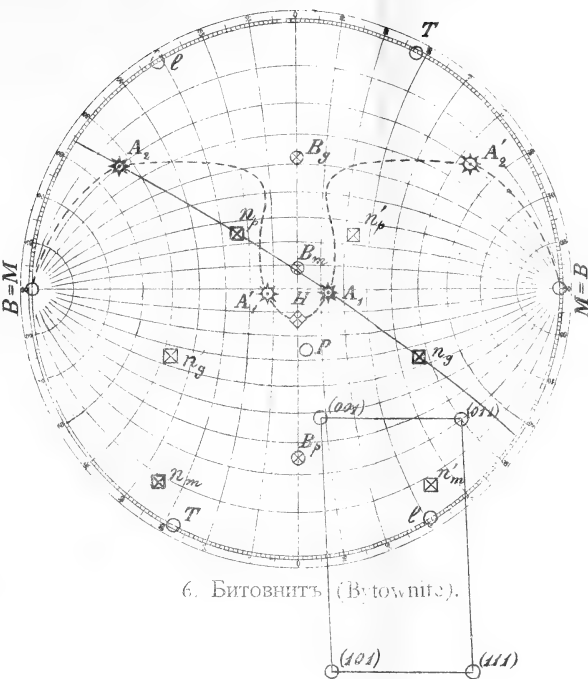
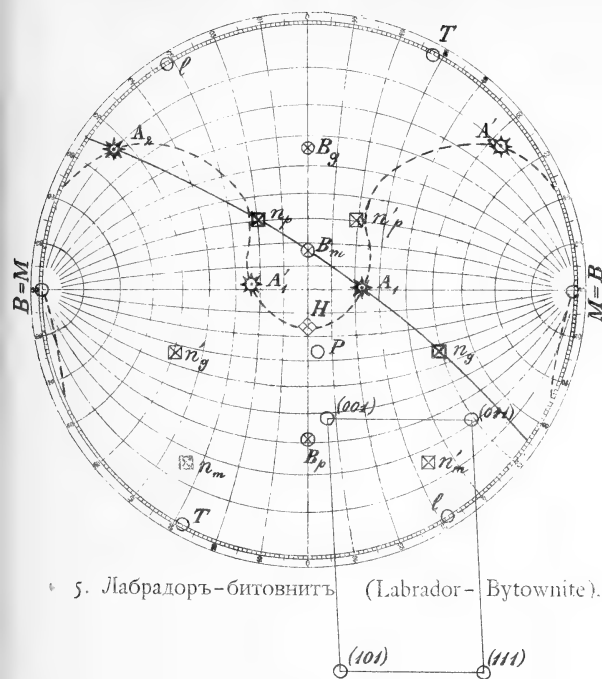


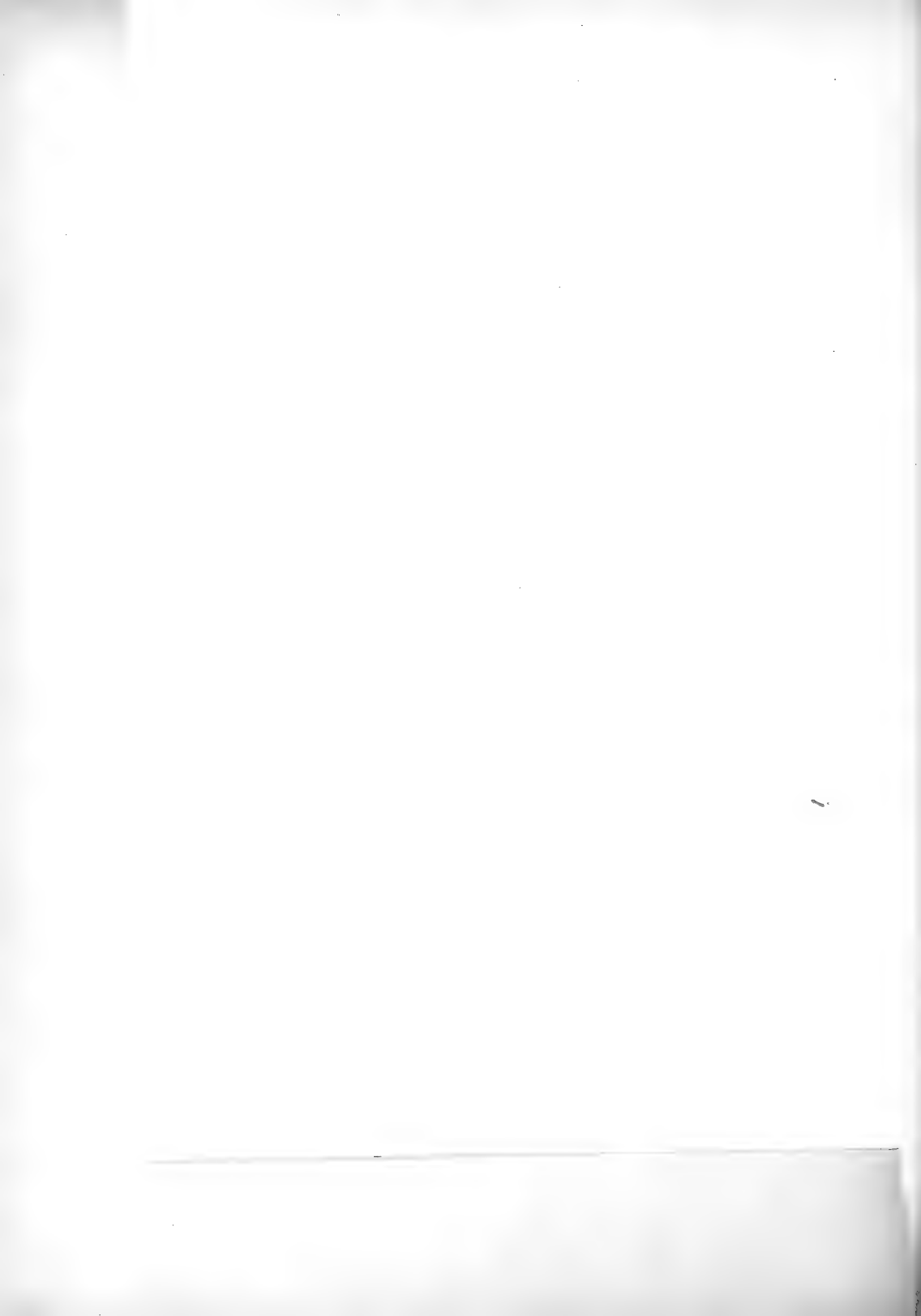
11. Анортит.



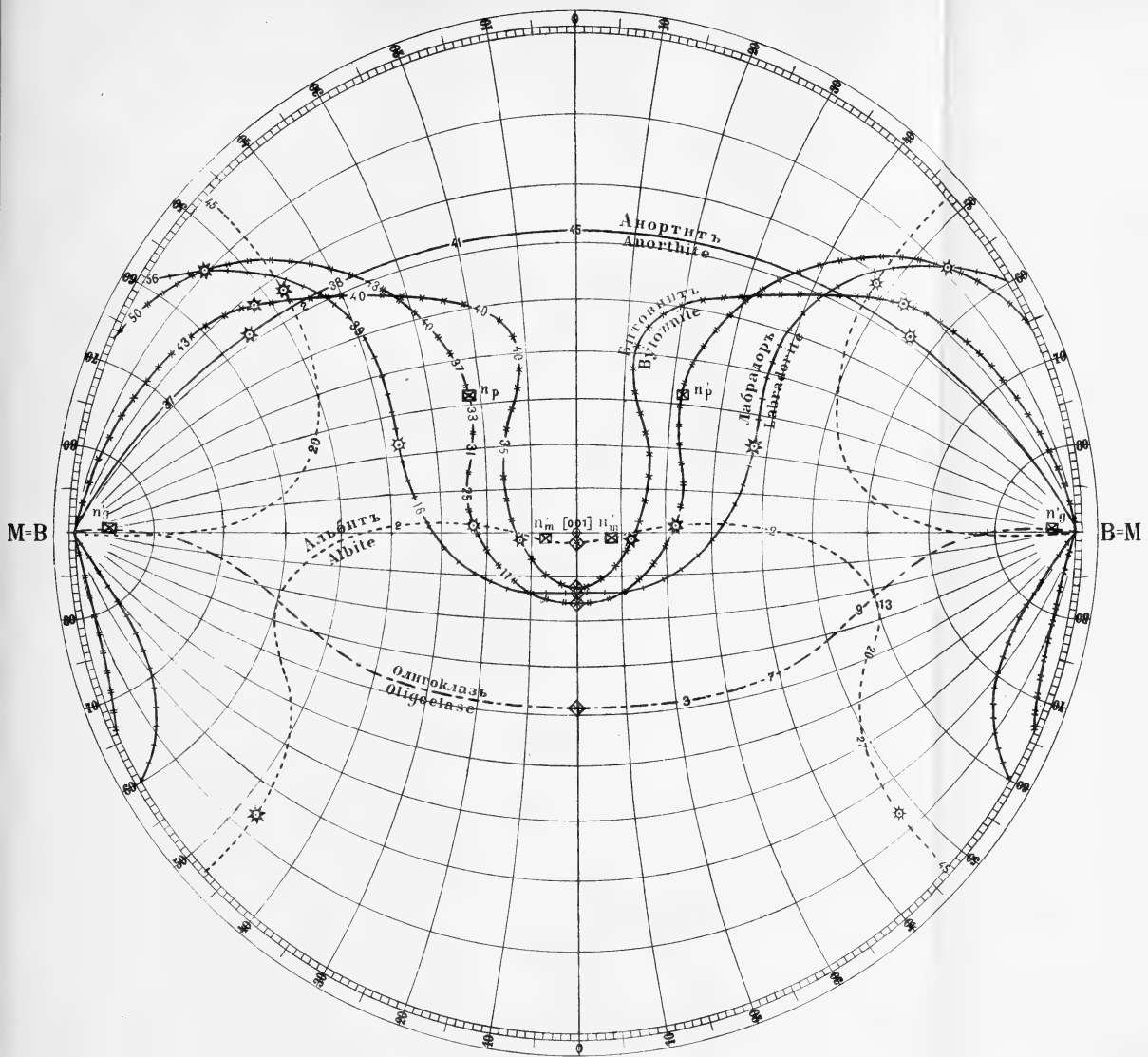












Кривыя одновременнаго затемнѣнія плагиоклазовъ.

Les courbes des extinctions simultanées des plagioclases.

Легенда къ табл. IV, V и VI.

- ☼ Оптическая ось 1-го индивида.
- ☼ " " " 2-го " "
- ◇ Главное направленіе.
- ⊠ Ось оптического эллипсоида 1-го инд.
- ⊠ " " " 2-го " "
- ⊗ Оптически-двойниковая ось.
- Полюсья грани.

Legende pour les planches IV, V et VI.

- ☼ L'axe optique du 1-er individu.
- ☼ " " " 2-nd " "
- ◇ La direction principale.
- ⊠ L'axe de l'ellipsoïde optique du 1-er ind.
- ⊠ " " " " 2-nd " "
- ⊗ L'axe d'hemitrophie optique.
- Le pôle d'une face.



- Томъ IV**, № 1, 1887 г. **А. Зайцевъ**. Общая геологическая карта Россіи. Листъ 138. Геологическое описаніе Ревдинскаго и Верхъ-Исетскаго округовъ. (A. Saitzew. Allgemeine geologische Karte von Russland. Blatt 138. Geologische Beschreibung der Kreise Rewdinsk und Werch-Issetsk). Съ геологическою картою. Ц. 2 р.
- № 2, 1890 г. **А. Штукенбергъ**. Общая геологическая карта Россіи. Листъ 138. Геологическія изслѣдованія сѣверозападной части 138-го листа. (A. Stuckenberg. Allgemeine geologische Karte von Russland. Blatt 138. Geologische Untersuchungen im nordwestlichen Gebiet dieses Blattes). Ц. 1 р. 25 к.
- № 3, 1893 г. **Ө. Чернышевъ**. Фауна нижняго девона восточнаго склона Урала. (Th. Tschernyschew. Die Fauna des unteren Devon am Ostabhange des Ural.) (печатается.)
- Томъ V**, № 1, 1890 г. **С. Никитинъ**. Общая геологическая карта Россіи. Листъ 57-й. Москва. (S. Nikitin. Carte géologique générale de la Russie. Feuille 57. Moscou). Съ гипсометрическою и отдѣльною геологическою картами. Ц. 4 р. (Одна геолог. карта 57-го листа безъ сочиненія — 1 р.).
- № 2, 1888 г. **С. Никитинъ**. Слѣды мѣлового періода въ центральной Россіи. (S. Nikitin. Les vestiges de la période crétacée dans la Russie centrale). Съ 5-ю таблицами ископаемыхъ и картою. Ц. 4 р.
- № 3, 1888 г. **М. Пѣтаева**. Головоногія верхняго яруса среднерусскаго каменноугольнаго известняка. (Marie Tzwetaev. Cephalopodes de la section supérieure du calcaire carbonifère de la Russie centrale.) Съ 6-ю таблицами ископаемыхъ. Ц. 2 р.
- № 4, 1888 г. **А. Штукенбергъ**. Кораллы и мшанки верхняго яруса среднерусскаго каменноугольнаго известняка. (A. Stuckenberg. Anthozoen und Bryozoen des oberen Kohlenkalks.) Съ 4-мя таблицами ископаемыхъ. Цѣна 1 р. 50 к.
- № 5 (и послѣдній), 1890 г. **С. Никитинъ**. Каменноугольныя отложенія подмосковнаго края и артезианскія воды подъ Москвою. (S. Nikitin. Dépôts carbonifères et puits artésiens dans la région de Moscou). Съ 3-мя палеонтологич. табл. Ц. 2 р. 30 к.
- Томъ VI**, 1888 г. **П. Кротовъ**. Геологическія изслѣдованія на западномъ склонѣ Соликамскаго и Чердынскаго Урала. (P. Krotow. Geologische Forschungen am westlichen Ural-Abhange in den Gebieten von Tscherdyn und Solikamsk). Съ отдѣльною геологическою картою и 2-мя таблицами ископаемыхъ. Ц. 8 р. 25 к. (Одна геологическая карта безъ сочиненія 75 к.).
- Томъ VII**, № 1, 1888 г. **И. Спицовъ**. Общая геологическая карта Россіи. Листъ 92-й. Саратовъ. (I. Sintzov. Carte géologique générale de la Russie. Feuille 92. Saratov). Съ отдѣльною картою и 2-мя таблицами ископаемыхъ. Ц. 2 р. 50 к. (Одна геологическая карта безъ сочиненія — 75 к.).
- № 2, 1888 г. **С. Никитинъ** и **П. Ососковъ**. Заволжье въ области 92-го листа Общей геологической карты Россіи. (S. Nikitin et P. Ossoskov. La région transvolgienne de la feuille 92 de la Carte générale de la Russie). Ц. 50 к.
- Томъ VIII**, № 1, 1888 г. **І. Лагузенъ**. Ауцеллы, встрѣчающіяся въ Россіи. (J. Lahusen. Ueber die russischen Aucellen). Съ 5-ю таблицами. Ц. 1 р. 60 к.
- № 2, 1890 г. **А. Михальскій**. Аммониты нижняго волжскаго яруса. (A. Michalski. Die Ammoniten der unteren Wolga-Stufe). Съ 13-ю таблицами рисунковъ. Вып. 1 и 2 (печатаются) Цѣна за оба выпуска 10 р.
- Томъ IX**, № 1, 1889 г. **Н. Соколовъ**. Общая геологическая карта Россіи. Листъ 48-й. Мелитополь. Съ приложеніемъ статьи Е. Федорова: Микроскопическое изслѣдованіе кристаллическихъ породъ изъ области 48-го листа (N. Sokolov. Allgemeine geologische Karte von Russland Blatt 48. Melitopol). Съ отдѣльною геологическою картою Ц. 4 р. 75 к. (Отдѣльн. геолог. карта 48-го листа — 75 к.).
- № 2, 1893 г. **Н. Соколовъ**. Нижнетретичныя отложенія Южной Россіи. (N. Sokolov. Die Untertertiären Ablagerungen Südrusslands). Съ 2-мя картами. Ц. 4 р. 50 к.

- Томъ X**, № 1. 1890 г. **Н. Мушкетовъ**. Вѣренское землетрясеніе 28-го мая 1887 г. (J. Mouchketoff. Le tremblement de terre de Verny). Съ 4-мя картами. Ц. 3 р. 50 к.
- № 2, 1893 г. **Е. Федоровъ**. Теодолитный методъ въ минералогіи и петрографіи. (E. Fedoroff. Nouvelle methode pour l'étude goniometrique et optique des cristaux). Съ 14-ю таблицами и 45-ти фигурами въ текстѣ. Ц. 3 р. 60 к.
- Томъ XI**, № 1, 1889 г. **А. Краснопольскій**. Общая геологическая карта Россіи. Листъ 126-й. Пермь-Соликамскъ. Геологическія изслѣдованія. (A. Krasnopolsky. Allgemeine geologische Karte von Russland. Blatt 126. Perm-Solikamsk. Geologische Untersuchungen). Ц. 6 р.
- № 2, 1891 г. **А. Краснопольскій**. Общая геологическая карта Россіи. Листъ 126-й. Пермь-Соликамскъ. Объяснительн. замѣчанія къ геол. картѣ. (A. Krasnopolsky. Notes explicatives à la carte géologique. Feuille 126. Perm-Solikamsk). Ц. (съ геолог. картою) 1 р. 50 к. (Одна геолог. карта 126-го листа 1 р.).
- Томъ XII**, № 2, 1892 г. **Н. Лебедевъ**. Верхне-силурийская фауна Тимана. (N. Lebedew. Obersilurische Fauna des Timan). Съ 3-мя табл. Ц. 1 р. 20 к.
- Томъ XIII**, № 1, 1892 г. **А. Зайцевъ**. Геологическія изслѣдованія въ Николае-Павдинскомъ округѣ. (A. Saitzew. Geologische Untersuchungen im Nicolai-Pawdinschen Kreise und Umgebung). Ц. 1 р. 20 к.

#### Извѣстія Геологическаго Комитета:

- |   |                       |
|---|-----------------------|
| Томъ I, 1882 г., Ц. 45 к.               | } Цена 2 руб. 50 коп. |
| „ II, 1883 г., №№ 1—9.                  |                       |
| „ III, 1884 г., №№ 1—10.                |                       |
| „ IV, 1885 г., №№ 1—10.                 |                       |
| „ V, 1886 г., №№ 1—11.                  |                       |
| „ VI, 1887 г., №№ 1—12.                 |                       |
| „ VII, 1888 г., №№ 1—10.                |                       |
| „ VIII, 1889 г., №№ 1—10.               |                       |
| „ IX, 1890 г., №№ 1—10.                 |                       |
| „ X, 1891 г., №№ 1—10.                  |                       |
| „ XI, 1892 г., №№ 1—10.                 |                       |
| „ XII, 1893 г., Годовая цѣна 2 р. 50 к. |                       |

**С. Никитинъ**. Русская геологическая бібліотека за 1885, 86, 87, 88, 89 и 90 г. (S. Nikitin. Bibliothèque géologique de la Russie. 1885, 86, 87, 88, 89 et 90). (Приложеніе къ Извѣстіямъ Геологическаго Комитета). Ц. 1 р. за годъ.

Протоколъ засѣданій Присутствія Геологическаго Комитета по обсужденію вопроса объ организаціи почвенныхъ изслѣдованій въ Россіи. (Приложеніе къ VI-му тому „Извѣстій Геологическаго Комитета“). Цѣна 35 коп.

Продаются въ С.-Петербургѣ: въ книжномъ магазинѣ Эггерсъ и К<sup>о</sup> и картографическомъ магазинѣ Ильина; въ Парижѣ — у Pierrotet, Comptoir géologique de Paris, 15, Rue de Tournon.



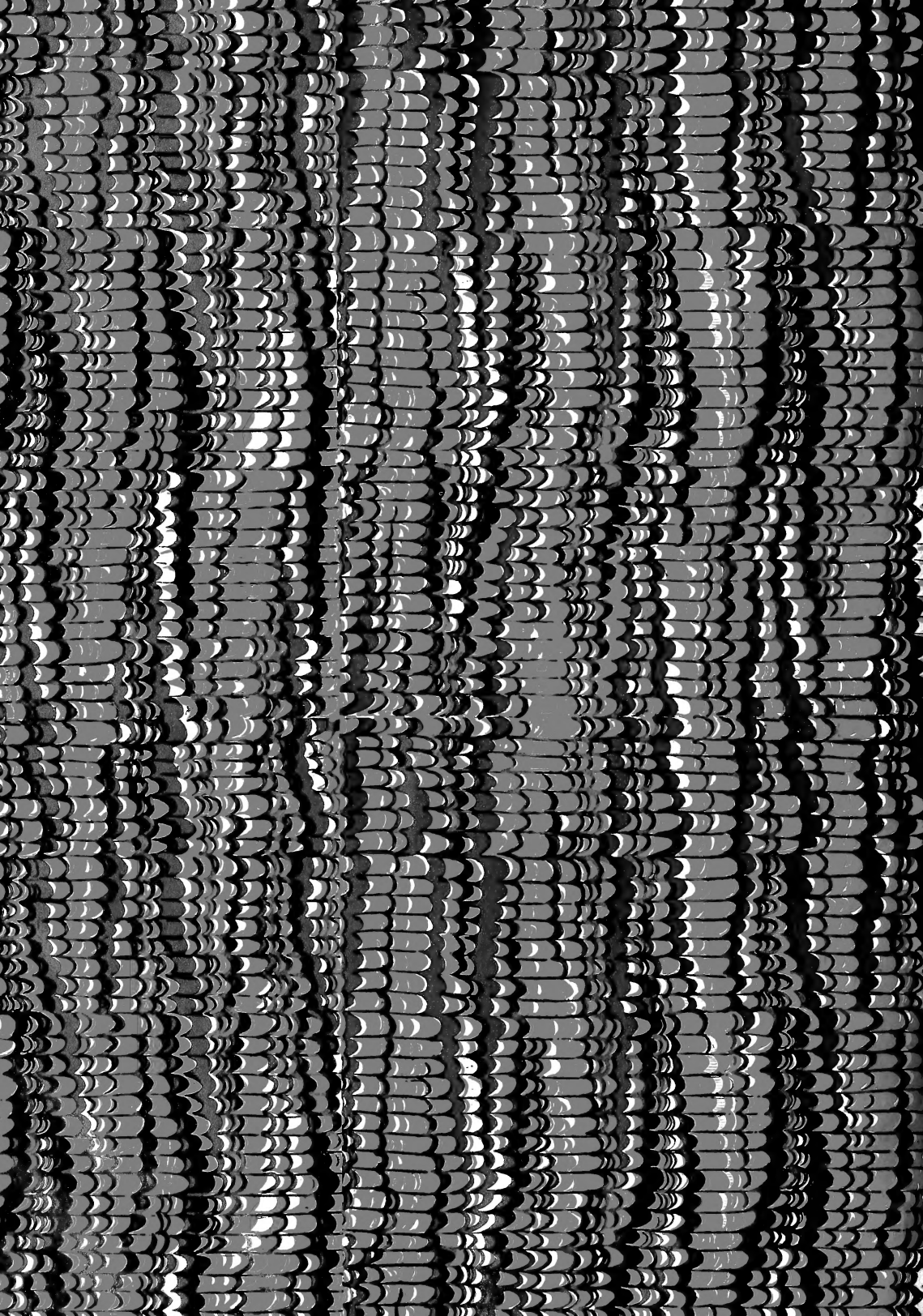


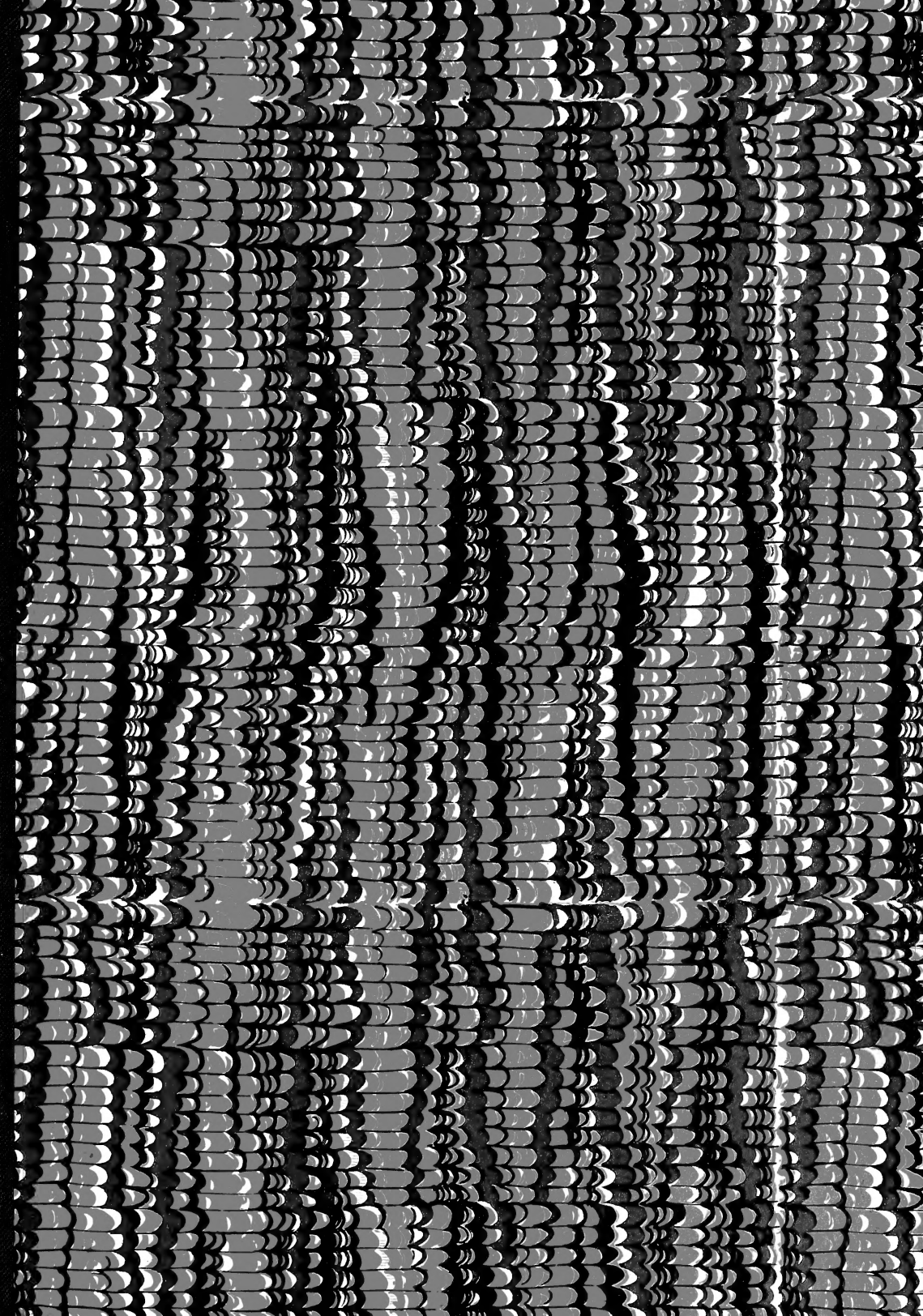












SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES



3 9088 01702 8762